

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE — N° 76

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE COMPARATIVE

DE LA

VALEUR ALIMENTAIRE

DES DIFFÉRENTES PARTIES DU

GRAIN DE BLÉ

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(SECTION DE PHARMACIE)

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 10 Juillet 1920

PAR

Maurice MIGUET

PHARMACIEN DE 1^{re} CLASSE

Né à Longecombe (Ain), le 17 Septembre 1880.



LYON

IMPRIMERIES RÉUNIES

33-35, RUE RACHAIS, 33-35

1920

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE COMPARATIVE
DE LA
VALEUR ALIMENTAIRE
DES DIFFÉRENTES PARTIES DU
GRAIN DE BLÉ

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE — N° 76

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE COMPARATIVE

DE LA

VALEUR ALIMENTAIRE

DES DIFFÉRENTES PARTIES DU

GRAIN DE BLÉ

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(SECTION DE PHARMACIE)

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 10 Juillet 1920

PAR

Maurice MIGUET

PHARMACIEN DE 1^{re} CLASSE

Né à Longecombe (Ain), le 17 Septembre 1880.



LYON

IMPRIMERIES RÉUNIES

33-35, RUE RACHAIS, 33-35

1920

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. HUGOUNENQ DOYEN.
LÉPINE. ASSESEUR.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, SOULIER, CAZENEUVE, PIERRET,
BEAUVISAGE, LACASSAGNE, MORAT, TESTUT, POLLOSSON (M.).

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. TEISSIER.
Cliniques chirurgicales.	ROQUE.
Clinique obstétricale et Accouchements.	BARD.
Clinique ophtalmologique	TIXIER.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	BERARD.
Clinique des maladies nerveuses et mentales.	FABRE.
Clinique des maladies des enfants	ROLLET.
Clinique des maladies des femmes	NICOLAS.
Physique biologique, radiologie et physiothérapie	LEPINE (J.).
Chimie biologique.	WEILL.
Chimie organique et Toxicologie.	POLLOSSON (A.).
Matière médicale et Botanique.	CLUZET.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.	HUGOUNENQ
Anatomie	MOREL.
Anatomie générale et Histologie	MOREAU.
Physiologie	GUIART.
Pathologie interne.	LATARJET.
Pathologie et Thérapeutique générales.	POLICARD.
Anatomie pathologique	DOYON.
Médecine opératoire	COLLET.
Médecine expérimentale et comparée.	MOURIQUAND.
Médecine légale	PAVIOT.
Hygiène.	X...
Thérapeutique.	ARLOING (F.).
Pharmacologie.	ETIENNE MARTIN.
	COURMONT (P.).
	PIC.
	FLORENCE.

PROFESSEURS ADJOINTS

Maladies des oreilles, du nez et du larynx	MM. LANNOIS.
Pathologie externe.	VALLAS.
Maladies des voies urinaires	ROCHET.
Propédeutique de gynécologie	CONDAMIN.

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Chimie minérale.	MM. BARRAL.	agrégé
Chirurgie infantile	NOVE-JOSSERAND,	—
Accouchements	COMMANDEUR,	—
Embryologie.	X...	—
Anatomie topographique.	PATEL.	—
Botanique.	BRETIN,	—
Chirurgie expérimentale	VILLARD,	—
Clinique infantile	X...	—
Déontologie et médecine professionnelle	X...	—

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
BARRAL.	LERICHE.	SAVY.	BONNAMOUR, chargé
COMMANDEUR.	TH. VENOT (Léon).	FROMENT.	des fonctions
NEVEU-LEMAIRE.	TAVERNIER.	THÉVENOT (Luc.).	SARVONAT —
LAROYENNE.	CADE.	PIERY.	FAVRE —
VORON.	GUILLEMARD.	COTTE.	GRAVIER —
NOGIER.	GARIN.	DUROUX.	ROUBIER —
BRETIN.			

M. BAYLE, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. HUGOUNENQ, Président; MOREL, Assesseur;
MM. MOURIQUAND, Professeur, et BRETIN, Agrégés.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR HUGOUNENQ

Doyen de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon,
Officier de la Légion d'Honneur.

Qui a bien voulu nous faire l'honneur
d'accepter la présidence de cette thèse,
nous adressons ici, avec nos remercie-
ments, l'hommage de nos sentiments
respectueux.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR ALBERT MOREL

Professeur de Chimie organique et Toxicologie,
Chevalier de la Légion d'Honneur.

Qui a bien voulu nous associer à ses recherches et nous a inspiré ce travail, effectué sous sa bienveillante direction, dans son laboratoire. Qu'il veuille bien recevoir ici l'expression de notre profonde reconnaissance!

A MONSIEUR LE PROFESSEUR MOURIQUAND

Professeur de Pathologie et Thérapeutique générales,
Médecin des Hôpitaux.

Qui a bien voulu s'intéresser à nos expériences et nous prodiguer ses bienveillants conseils. Nous le prions d'agréer l'assurance de notre vive gratitude.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ BRETIN

Qui a bien voulu nous éclairer de ses conseils au point de vue botanique. Nous le prions d'agréer l'expression de notre sincère reconnaissance.

INTRODUCTION

Depuis Parmentier (1), nombreuses ont été les discussions sur les avantages et les inconvénients du blutage plus ou moins élevé des farines, c'est-à-dire de leur séparation plus ou moins complète d'avec les parties extérieures du grain.

Tout le monde est d'accord pour admettre l'intérêt considérable de cette question, qui partageait encore les hygiénistes, il y a quelques années, en deux camps adverses et également passionnés : d'un côté les partisans du pain blanc, de l'autre, ceux du pain bis et du pain complet.

Depuis 1914, en présence du déficit de notre production de blé et des difficultés de notre approvisionnement à l'étranger, les défenseurs les plus déterminés du pain blanc ont dû s'incliner devant la nécessité de remédier à l'insuffisance de nos récoltes par des mesures provisoires indispensables.

Ces mesures provisoires (2), qui ont abouti à rendre

(1) BALLAND. — *La chimie alimentaire dans l'œuvre de Parmentier.*

(2) La loi du 16 octobre 1915 admettait comme taux d'extraction normale le taux de 74 %, c'est-à-dire 74 kilos de farine pour 100 kilos de blé. La loi du 25 avril 1916 porta ce taux à 77 %. La loi du 29 juillet 1916 à 80 %. La loi du 8 avril 1917 autorisait l'addition à la farine ainsi obtenue de 15 % de farine d'orge, ou 15 % de farine de maïs, ou 25 % de farine de sarrasin et de seigle. Elle autorisait également d'autres succédanés : méteil, fèves, féveroles, sorgho, à

obligatoire pour la farine de froment des taux d'extraction de plus en plus élevés, 74, 77, 80 et même 85 %, doivent-elles devenir définitives ?

Le présent travail, tout en rappelant les recherches anciennes sur la question, a pour but d'apporter, à la lumière des travaux récents et d'expériences nouvelles d'une durée suffisante pour être démonstratives, une contribution personnelle à cette étude, dont l'intérêt hygiénique, au moins autant que l'intérêt économique, apparaît de la plus haute importance.

Dans le chapitre qui va suivre, nous avons cru bien faire, pour la compréhension plus facile de notre travail, de résumer les notions essentielles concernant le grain de blé, sa formation, sa composition, les différents procédés employés pour sa mouture, les produits résultant de cette opération, les caractéristiques des farines, leur transformation et leur emploi.

des taux laissés à l'appréciation des bureaux permanents des céréales, d'accord avec les préfets.

Le 3 mai 1917, un décret fixe le taux d'extraction à 85 % ; puis, devant les protestations des meuniers qui se déclarent incapables d'extraire 85 kilos de farine de 100 kilos de blé, un nouveau décret, le 30 novembre 1917, admet que le taux d'extraction puisse varier suivant la nature et la qualité des blés, et oblige simplement à l'extraction maximum possible, tout en maintenant l'addition des mêmes succédanés, dont elle fixe en même temps le taux d'extraction.

Enfin, le 3 février 1920, un décret fixe de nouveau le taux légal d'extraction à 80 %, en spécifiant qu'il s'applique aux blés pesant au moins 77 kilos à l'hectolitre et ne renfermant pas plus de 2 % d'impuretés.

PREMIÈRE PARTIE

Le Problème du Pain

CHAPITRE PREMIER

LE GRAIN DE BLÉ ET SON UTILISATION

Un certain nombre de céréales : le blé, le seigle, l'orge, l'épeautre, l'avoine, le maïs, le riz sont employés dans l'alimentation humaine.

Quelques-unes d'entre elles le sont sous forme de pain, c'est-à-dire après avoir subi une fermentation et une cuisson appropriées.

Une seule est consommée sous forme de *pain blanc*, parce que seule elle permet de le préparer, c'est le *blé* ou *froment*, plante de la famille des graminées et qui comprend plusieurs espèces du genre *triticum*, lesquelles ont fourni un nombre infini de variétés.

Description du grain de blé.

La figure (1) montre comment se présente extérieurement le grain de blé.

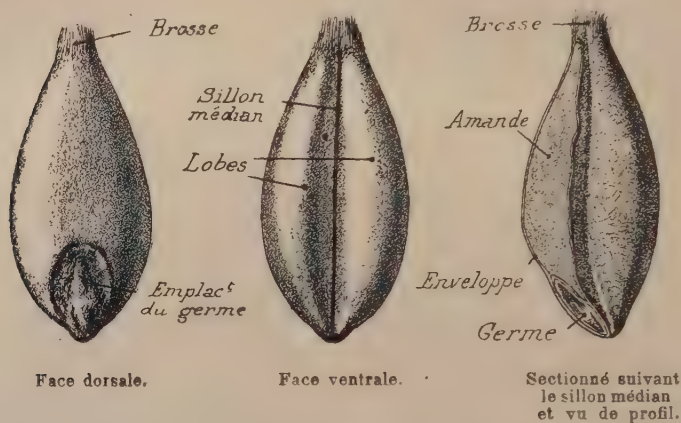


FIG. 1. — Grain de blé.

Le sillon médian du grain, assez profond et largement ouvert, permet de séparer facilement les deux lobes. Une coupe longitudinale de l'un de ces lobes met en évidence (fig. 2) l'enveloppe, le germe ou embryon et au centre l'amande farineuse.

Un examen microscopique plus complet nous révèle la structure anatomique suivante (fig. 3) de l'extérieur du grain à l'intérieur.

L'enveloppe proprement dite (*péricarpe*) comprend :

L'*épicarpe* (*é*), composé de cellules tabulaires à parois épaisses, allongées dans le sens de la longueur du grain ;

Le *mésocarpe* (*m*), enveloppe plus épaisse et plus dure

que la précédente, composé de cellules allongées dans le sens transversal du grain, et qu'on appelle pour ce motif *cellules transverses* (*ct*). A la partie supérieure du mésocarpe, appelée par certains auteurs hypoderme, on trouve des *cellules sclérifiées* (*sc*), irrégulières de forme, et laissant entre elles de petites lacunes apparentes. A la partie inférieure du mésocarpe, des cellules (*tu*) très allongées, plus ou moins sinueuses, appelées par Vogt, en raison de leur forme, cellules *tubulaires*,

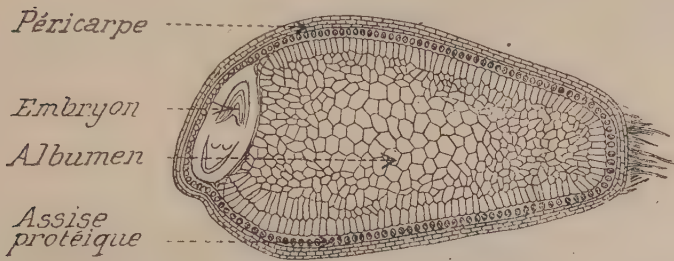


FIG. 2. — Grain de blé.
Coupe longitudinale schématique.

et par Hohnel, cellules en *gourdins*, représentant les vestiges des vaisseaux qui ont réparti la sève dans le grain en formation.

Enfin, l'*endocarpe* (*en*), tissu plus compact encore que le précédent, brillant, coloré en jaune foncé, en brun ou en rouge, et composé de cellules aplaties aux parois minces mais fortement soudées.

L'enveloppe de l'*amande* se compose de la *couche hyaline* (*h*), qui représente les restes des téguments du nucelle, formée par des cellules rectangulaires allongées dans le sens tangentiel, incolores, dont les parois laté-

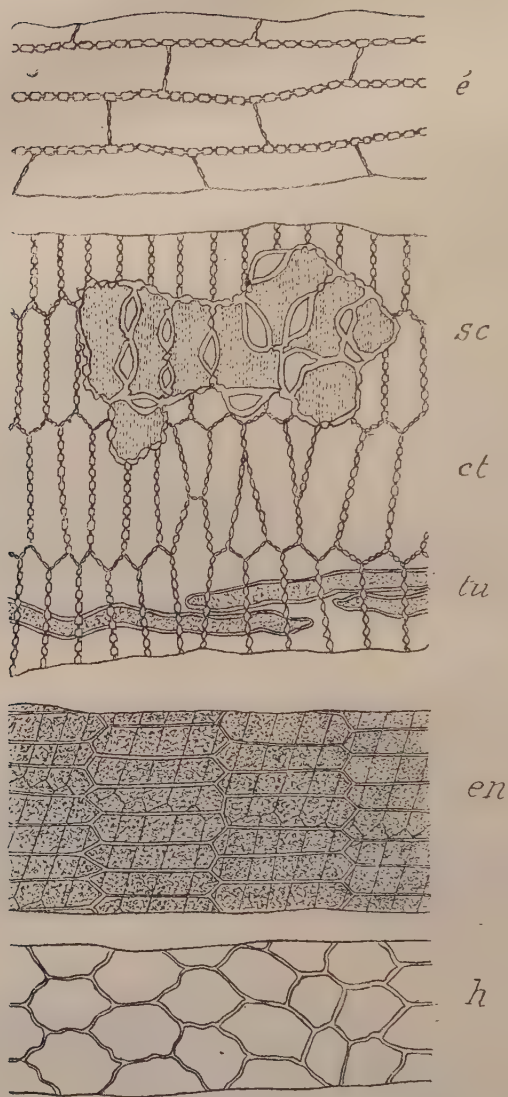


FIG. 3. — Coupe longitudinale des enveloppes du grain de blé.

(*e*), épicarpe. — (*sc*), cell. scléreuses. — (*ct*), cell. transversales.
 (*tu*), cell. tubulaires. — (*en*), endocarpe. — (*h*), couche hyaline.

rales sont amincies, tandis que leurs parois internes et externes sont au contraire très épaisses.

L'assise protéique (*ap*) (fig. 4), que l'on considère souvent comme faisant partie de l'amande, et qui mérite cependant d'en être nettement séparée, tant par sa composition que par son rôle, comme nous le verrons tout à l'heure. L'assise protéique, ou couche à *aleurone*, est formée de cellules cubiques, colorées en jaune, à parois épaisses, qui contiennent dans un protoplasma

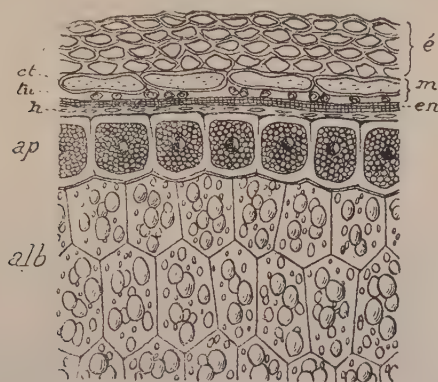


FIG. 4. — Coupe transversale du grain de blé.

huileux, des grains d'aleurone, renfermant une substance azotée de formule complexe dont nous reparlerons plus loin. L'assise protéique entoura complètement l'albumen et l'embryon.

A sa partie inférieure, l'albumen soude immédiatement ses premières cellules (fig. 2 et 4). Celles-ci sont de couleur mastic; polygonales, irrégulières, légèrement allongées dans le sens radial. On les appelle en

meunerie les *gruaux bis*. Puis viennent les *gruaux* moins colorés ; ce sont les *petits gruaux blancs*. A mesure qu'on approche du centre du grain, leurs dimensions vont en augmentant et le centre même fournit les *gros gruaux blancs*.

Chaque cellule, séparée des autres par une mince paroi de cellulose, est formée de grains d'amidon, de forme discoïde, mesurant de 2 à 35 μ de diamètre moyen. Ces grains blancs sont noyés dans une matière azotée, granuleuse, grisâtre, qui est du gluten, et dont la proportion va en diminuant du pourtour vers le centre de l'albumen.

L'*embryon* (fig. 5), à l'une des extrémités du grain, est séparé, d'une part, de l'assise protéique, et d'autre part, de l'albumen, par une membrane qui l'enveloppe entièrement, appelée *scutellum* ou *écusson* (*ec*). Cette enveloppe s'épaissit en effet sur sa face en contact avec l'assise protéique, en une plaque en forme d'écusson, forme qui est visible à l'extérieur même du grain (fig. 1). L'écusson est séparé de l'albumen par une bande de cellules hyalines très minces. Il est constitué extérieurement (fig. 6), par une couche de cellules régulièrement disposées en forme de palissade, puis par un tissu de cellules polygonales irrégulières. Au-dessous de celles-ci, une seconde épaisseur de cellules semblables, mais plus petites, forment le *cotylédon* (*co*). Ces cellules renferment un protoplasma granuleux et un noyau très apparent.

Enfin, le centre du germe se compose des folioles, de la gemmulè et de la radicule, qui présentent à peu près la même structure.

Pour terminer cette étude micrographique préalable du grain de blé, il nous reste à indiquer comment se modifie le péricarpe dans le fond du sillon médian (fig.7). Les cellules de l'épicarpe et les cellules transverses deviennent plus irrégulières comme forme, direction et dimension. Il n'y a presque pas de cellules tubulaires. Le péricarpe épaissi forme un tissu compact, dans lequel on observe un *faisceau fibro-vasculaire* (ffv). L'endocarpe développe un massif dense de cellules peti-

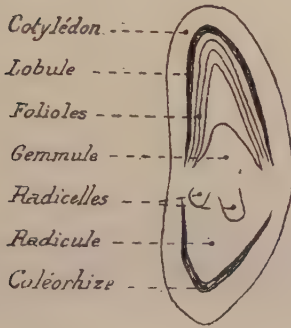


FIG. 5.
Embryon de blé.

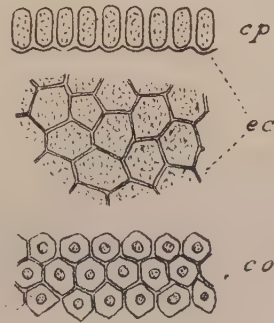


FIG. 6.
Coupe microscopique
de l'embryon.

(ec), écusson. — (cp), cel. en
palissade. — (co), cotylédon.

tes et allongées, suivant l'axe du sillon, colorées en brun foncé. Ce *pilier pigmentaire* (pi), s'observe facilement sous forme de deux lignes brunes lorsqu'on sectionne le grain suivant le sillon.

**Répartition des différents éléments anatomiques
et composition chimique du grain de blé.**

Les rapports en poids des différentes parties du grain de blé, et aussi leur composition chimique, sont variables suivant les blés examinés. Les chiffres que nous

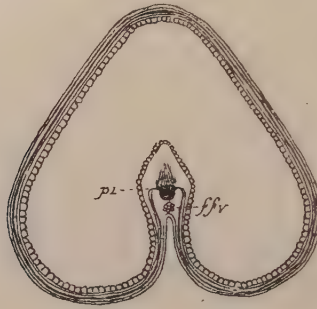


FIG. 7.

Coupe transversale schématique
du grain de blé.

allons donner ci-après sont des chiffres moyens, résultant d'un très grand nombre d'analyses, effectuées par les différents auteurs qui font autorité en la matière (1).

Rapports en poids des différents éléments du grain de blé	Enveloppe	Épicarpe	1,5	15 %
		Mésocarpe	3,5	
		Endocarpe et bande hyaline	10,	
	Assise protéique		8,5	83 %
	Amande	Embryon	1,5	
		Albumen	75,	

(1) MILLON, TRUCHOT, POGGIALE, PÉLICOT, BALLAND, Aimé GIRARD, FLEURENT, etc...

COMPOSITION CHIMIQUE MOYENNE DU GRAIN DE BLÉ. —

Chimiquement, le grain de blé contient pour 100 grammes, d'après BALLAND :

		Minimum	Maximum
Blé total	Eau	de 8,84	à 16,90
	Matières azotées.....	de 7,48	à 15,58
	Hydrates de carbone.....	de 65,41	à 76,17
	Cellulose	de 1,15	à 3,94
	Matières minérales	de 1,12	à 2,56

Voici, d'après Aimé GIRARD, la répartition de ces composants dans le péricarpe :

		% du péricarpe	% du grain	
Péricarpe	{	Eau	11,63	1,74
		Matières azotée....	9,46	1,42
		Ligneux non azoté	76,22	11,43
		Matières minérales	2,69	0,44
			100,00	15,00

D'autre part, en prenant comme base le poids de chaque élément déshydraté, voici la composition moyenne de l'albumen, de l'embryon et de l'assise protéique :

	Albumen	Embryon	Assise protéique
Matières azotées	11,56	44,07	28,14
Matières non azotées	86,44	35,80	54,73
Matières grasses	1,29	14,15	10,38
Matières minérales	0,71	5,98	6,78
	100,00	100,00	100,00

En rapportant ces poids à celui du grain entier, on obtient les résultats suivants :

COMPOSITION MOYENNE APPROXIMATIVE DE L'ALBUMEN, DE L'EMBRYON ET DE L'ASSISE PROTÉIQUE, RAPPORTÉE AU POIDS DU GRAIN ENTIER.

	Albumen	Embryon	Assise protéique	Ensemble
Matières azotées...	8,68	0,66	2,40	11,74
Matières non azotées	64,82	0,53	4,65	70,00
Matières grasses...	0,97	0,21	0,88	2,06
Matières minérales	0,53	0,10	0,57	1,20
	75,00	1,50	8,50	85,00

Ces chiffres sont établis d'après les analyses d'Aimé GIRARD pour l'embryon et l'assise protéique. Pour l'albumen ils sont une moyenne des résultats obtenus par les différents auteurs qui se sont occupés de la question (v. renvoi p. 18).

Si l'on examine le tableau précédent, on voit que la plus grande partie des matières azotées du grain se trouve dans l'albumen. Il en est de même des matières non azotées, rubrique sous laquelle nous avons classé les hydrates de carbone : celluloses, matières ligneuses, glucose, amidon, etc. Au contraire, en ce qui concerne les matières grasses et les matières minérales, l'albumen contient moins de la moitié de leur quantité totale. Le reste se trouve concentré surtout dans l'embryon et l'assise protéique.

Nature des composants du grain de blé.

MATIÈRES AZOTÉES. — Dans l'enveloppe, les matières azotées sont intimement unies aux éléments lignifiés. Elles y sont en faible proportion (1).

Dans l'embryon et l'assise protéique les matières azotées se présentent sous forme de grains d'*aleurone*.

Ces grains d'aleurone, que l'on rencontre dans d'autres végétaux de familles différentes (graines de ricin, de courge, etc.), sont formés d'une substance fondamentale amorphe où figurent une ou plusieurs protéines appartenant au groupe des globulines (2). Ils sont limités par une membrane (parfois absente) et contiennent fréquemment des inclusions cristalloïdes de nature protéique et des globoïdes, combinaisons organiques renfermant de la chaux et de la magnésie (3).

La matière azotée de l'albumen est surtout constituée par du *gluten*. Le gluten est cette matière élastique que l'on extrait facilement en malaxant de la farine de froment sous un mince filet d'eau. Il se présente alors sous la forme d'une masse jaune grisâtre qui, lorsqu'on l'étire, revient lentement sur elle-même. Le gluten du froment seul possède cette propriété agglutinative et élastique, à l'exclusion de celui des autres céréales.

(1) Notons ici que POGGIALE n'a trouvé dans le péricarpe que 3,38 % de matières azotées, chiffre bien inférieur à celui d'Aimé GIRARD. BALLAND, reprenant cette analyse sur des sons de cylindres très ténus, a obtenu un chiffre se rapprochant de celui de POGGIALE, soit 0,50 % environ du grain total.

(2) On appelle **globulines** les matières protéiques insolubles dans l'eau pure, mais solubles dans les solutions alcalines. (OSBORNE, *The Vegetable proteins*, p. 7.)

(3) G. ANDRÉ. — *Chimie agricole*, 1914, p. 238.

FLEURENT (1) a trouvé l'explication de cette propriété particulière en déterminant que le gluten se compose de trois substances azotées différentes :

1° La *gliadine* qui se gonfle au contact de l'eau et prend une consistance mielleuse ; 2° la *gluténine*, matière sableuse inerte, que l'eau ne modifie que légèrement ; 3° la *conglutine*, dont la proportion est très variable (de 1 % dans les blés tendres à 15 à 20 % dans les blés durs) (2).

Les quantités relatives de gliadine et de gluténine contenues dans le gluten varient en raison inverse l'une de l'autre dans les limites ci-après :

Gliadine.....	60 à 82 %
Gluténine.....	40 à 18 %

Le centre de l'albumen est plus riche en gliadine ; la périphérie en gluténine.

L'élasticité du gluten dépend des proportions de gliadine et de gluténine qu'il contient. La prédominance de la gliadine le rend mou et filant, tandis que la prédominance de la gluténine le rend dur et cassant. Il s'ensuit qu'il doit exister entre ces deux substances un rapport grâce auquel est atteinte une élasticité maximum.

FLEURENT a établi, et ses chiffres ont été vérifiés par

(1) FLEURENT. — *Le pain de froment*, 1911.

(2) La *gliadine* est insoluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool absolu, mais très soluble dans l'alcool à 70°. OSBORNE a proposé de la classer dans le groupe des *prolamines*. (OSBORNE, *The vegetable proteins*, p. 79.)

D'après le même auteur, la *gluténine* appartiendrait au groupe des *glutelines* ; elle est insoluble dans l'eau et dans l'alcool, même en présence de petites quantités d'alcali.

Quant à la *conglutine*, elle ferait partie des *globulines*. (OSBORNE.)

des expériences ultérieures, que le rapport le plus favorable à la panification est :

$$\frac{\text{Gluténine}}{\text{Gliadine}} = \frac{1}{3}$$

Les farines de seigle, riz, orge, maïs et sarrasin, dont on ne peut extraire le gluten par les mêmes procédés que pour la farine de blé, sont très pauvres en gliadine. Aussi ne peuvent-elles fournir que des pains compacts et de digestion difficile.

HYDRATES DE CARBONE. — Ces substances non azotées comprennent principalement l'*amidon* et la *cellulose*.

C'est l'amidon (1) qui forme la plus grande partie de l'albumen. Comme nous l'avons vu (p. 14) il est intimement incorporé au gluten. Mais, au contraire de celui-ci, l'amidon est en proportion d'autant plus grande dans les gruaux que ceux-ci sont plus près du centre.

La somme de l'amidon et du gluten dans le grain de blé est un nombre à peu près constant et voisin de 80 %. Quand la proportion du gluten diminue, celle de l'amidon augmente et inversement.

(1) Les travaux de MAQUENNE, Eug. ROUX et de M^{me} GATIN-GRUZEWSKA, ont montré que l'amidon est un mélange d'*amylose* (amidon soluble pur) et d'*amylopectine*, substance mucilagineuse qui constitue l'enveloppe du grain d'amidon.

L'*amylose* est formée d'un ensemble de substances de même formule, sous des états différents de condensation et peut-être d'hydratation. Elle se présente sous forme de poudre blanche fine, soluble en partie dans l'eau froide et en totalité dans l'eau à 100-120°. Ses solutions sont opalescentes. L'*amylose* est colorée en bleu franc par l'iode.

L'*amylopectine* se gonfle, sans se dissoudre sensiblement dans l'eau bouillante et les alcalis; c'est elle qui communique à l'empois d'amidon sa viscosité bien connue. L'iode la colore en bleu violacé.

Quant à la cellulose (1), c'est elle qui constitue les parois des cellules de l'albumen et, à ce titre, on évalue sa quantité à 2 % environ du grain.

L'embryon en contient environ 10 % de son poids.

Les parois épaisses des cellules de l'assise protéique en contiennent davantage, 3 à 4 % du poids total du grain, d'après FRICNOT (2).

Quant au péricarpe, nous avons vu qu'il est constitué en majeure partie de cellulose, 75 à 80 % de son poids.

Nous indiquons pour mémoire les autres hydrates de carbone, amylopectine, glucose, gommes, contenus dans le grain de blé, en proportion très faible, mais dont la présence mérite néanmoins d'être mentionnée, parce que ces corps représentent des stades de la formation et de la transformation de l'amidon et de la cellulose, et que certains d'entre eux jouent un rôle important dans la panification.

MATIÈRES GRASSES. — Nous avons vu que la plus grande partie des matières grasses du grain se trouvent dans l'embryon et l'assise protéique et qu'elles y existent en quantité importante : 14,15 % de l'embryon et 10,38 % de l'assise protéique.

Dans l'un comme dans l'autre elles semblent être de même nature. L'extraction de ces matières grasses, par

(1) Il serait préférable de dire les celluloses, car la consistance de chaque cellulose dépend du degré de condensation de sa molécule. En outre, les celluloses sont toujours imprégnées d'hémicelluloses (arabane, xylanes, galactoarabane, mannanes), de lignine, de vasculose et de matières minérales.

(2) E. FRICNOT, — *Études et recherches sur le grain de blé*, 1899, p. 149.

pression, donne une huile sirupeuse, d'une agréable odeur de fleur de froment, de miel ou de noisette (1).

« Sirupeuse au moment où elle vient d'être extraite », dit Aimé GIRARD (2), « elle ne tarde pas à se modifier au contact de l'air ; en deux ou trois jours elle devient visqueuse, épaisse, et bientôt se montre remplie de matières résineuses, solidifiées et insolubles dans la benzine. En même temps, le parfum agréable qui la caractérisait à l'origine disparaît pour faire place à l'odeur connue des graisses rancies. »

En épuisant, par l'éther éthylique à 65°, les germes de blé mélangés de son, et en traitant par l'alcool à 95° les matières grasses obtenues, BALLAND en a extrait environ 83,34 % d'huile fluide et 16,66 % d'acides gras solides ayant des points de fusion variables.

En dehors de ces acides, solubles à la fois dans l'éther et dans l'alcool, il existe dans le produit initial d'autres acides insolubles dans l'éther seul.

Ce sont ces matières grasses que GIRARD rend responsables du rancissement des farines. BALLAND a montré (3) que c'est également à la transformation de ces matières grasses en acides gras qu'est due l'acidité

(1) Cette odeur est due à la présence d'huiles essentielles, faciles à mettre en évidence, en distillant avec précaution l'éther qui a dissous les matières grasses de l'embryon et de l'assise protéique.

D'après GIGLIOLI (1912), le rôle physiologique que joueraient les *essences* serait d'ordre osmotique. Ces substances seraient capables de provoquer et d'accélérer le mouvement de l'eau au travers de la paroi cellulaire, et, par conséquent, le transport des enzymes et des matériaux solubles. (G. ANDRÉ, *Chimie agricole*, 1914, p. 174.

(2) A. GIRARD. — *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment*, 1884.

(3) A. BALLAND. — *Comptes rendus Académie des Sciences*, 2 novembre 1908.

croissante des farines anciennes. Nous reviendrons sur ce sujet à propos du vieillissement des farines.

MATIÈRES MINÉRALES. — Voici, d'après divers auteurs, la composition des cendres de blé (1).

Pour cent	Petzoldt	Bichon Blé de Hollande	Irdmann	WILL et FRÉSÉNIUS		Thon, Blé de Soles	Boussingault Blé d'Alsace
				Blé rouge de Giessen	Blé blanc de Giessen		
Potasse.....	25,81	6,43	25,90	21,87	33,84	24,17	30,12
Soude.....	2,68	27,79	0,44	15,75		10,34	
Chaux.....	1,49	3,91	1,92	1,93	3,06	3,01	3,00
Magnésie.....	12,48	12,98	6,27	9,60	13,54	13,57	16,26
Oxydes de fer et de manganèse..	0,15	0,50	1,33	1,36	0,31	0,52	
Chlore.....	Traces						
Acide sulfurique.....	0,04	0,27		0,17			1,01
— phosphorique.....	57,31	46,14	60,39	49,32	49,21	45,53	48,30
Silice.....	0,33	0,42	3,37			1,91	1,31
	99,99	98,44	99,62	100,00	99,96	99,05	100,00

On remarque la place importante qu'occupent, parmi ces matières minérales, les phosphates ; on remarque aussi qu'en ce qui concerne tous les autres corps, les analyses des divers auteurs sont assez peu concordantes.

Ce dernier fait tient certainement, d'une part, aux impuretés, poussières, matières étrangères, qui ne peuvent être éliminées, quels que soient les procédés de nettoyage du grain, parce qu'ils sont profondément encastrés dans le sillon médian ; d'autre part, aux procédés de dosages employés par les divers auteurs et aux espèces de blés qu'ils ont examinées.

(1) VILLIERS, COLLIN et FAYOLLE. — *Traité des falsifications et altérations des substances alimentaires. Aliments féculents* 1909, p. 32.

DIFFÉRENTES ESPÈCES DE BLÉS. — La constitution des blés est en effet, comme nous l'avons vu (p. 16), très variable, chaque espèce ayant donné, suivant le climat, le sol, le mode de culture auxquels elle était soumise, de multiples sous-variétés.

Néanmoins, on les divise facilement en trois grandes classes : les blés durs, les blés tendres et les blés demi-durs, désignés plus souvent sous le nom de blés mitadins.

Les *blés durs* sont à grains plus petits, de forme effilée. Leur enveloppe est plus ténue, leur germe plus petit. Ils résistent sous la dent. Leur cassure est moins blanche, d'apparence cornée, et semble demi-transparente. Leur section transversale est triangulaire. Le sillon est peu profond.

Les *blés tendres* sont généralement à grains plus gros, renflés vers le milieu du grand axe, ou du côté de l'embryon. Ils présentent moins de résistance. Leur cassure est blanche, farineuse, mate, opaque. Leur section transversale est plus arrondie ; les lobes sont plus nettement séparés.

Les *blés mitadins* présentent des caractères intermédiaires entre les blés durs et les blés tendres. Leur section est d'aspect farineux au centre, d'apparence cornée au pourtour de l'albumen.

Les blés durs pèsent de 78 à 82 kilos à l'hectolitre ; les blés tendres, de 72 à 76 kilos.

En général, les premiers donnent à poids égal un plus grand rendement en farine. Cette farine est plus riche en matières azotées, moins riche en amidon et moins blanche que celle des blés tendres.

Les blés durs sont récoltés principalement dans les pays chauds : Algérie, Tunisie, Egypte, sud de la Russie, Argentine, Uruguay, etc.

Les blés tendres, au centre et dans le nord de la France, en Angleterre, en Russie, aux Etats-Unis, au Canada.

On trouve les blés mitulins dans le midi et l'est de la France.

Examen comparatif des blés. — L'examen comparatif des blés de natures différentes et de diverses provenances a permis de faire un certain nombre de constatations intéressantes, relatives à l'influence du climat, du sol et du mode de culture sur la composition des blés.

En général, les pays chauds sont plus favorables au développement de la matière azotée. En France, on constate que les plus faibles proportions de matières azotées se rencontrent dans les blés du Nord, et les plus fortes dans les blés du Midi. On a constaté que les blés de France de 1904, année très chaude, étaient plus azotés que ceux des années ordinaires. Ce n'est pas une règle sans exception ; il y a des blés d'Egypte qui sont moins azotés que les blés d'Algérie et de Tunisie, et même moins azotés que la moyenne des blés de France. Dans les pays à climat varié, tels que la France et les Etats-Unis, les plus fortes proportions d'azote se rencontrent dans les blés des régions les plus chaudes.

« Comme exemple de l'influence simultanée du climat et du sol, nous avons le blé dur de Bordeaux, toujours plus azoté dans la Gironde que dans les départements du Jura, de Seine-et-Marne, de Seine-et-Oise et de l'Yonne. Nous pouvons citer aussi le blé de Saumur, cultivé en

Seine-et-Marne. Tous ces blés ont une tendance à se rapprocher des blés des régions où ils sont transportés. Le poids moyen du grain se modifie en même temps que la composition.

« Un autre exemple des plus frappants nous est encore fourni par un blé d'origine française récolté dans l'Amérique du Sud, à la Plata. Ce blé contient plus de 13 % de matières azotées ; c'est une proportion que nous n'avons jamais trouvée dans aucun blé de France. Le poids moyen des grains est tombé au-dessous de la moyenne de nos blés indigènes.

« L'influence de la culture apparaît bien dans les blés d'Aubervilliers et de Gennevilliers, qui ont été récoltés dans des terrains où les maraîchers utilisent de préférence, comme engrais, les gadoues de Paris. Ces blés renferment beaucoup plus de matières azotées que les blés de même espèce récoltés en Seine-et-Oise (1). »

En résumé : 1° *Du centre à la périphérie du grain, si l'on en exclut le péricarpe, on constate une teneur croissante en matières azotées, matières grasses et matières minérales. Le germe, considéré isolément, est particulièrement riche en ces trois sortes d'éléments.*

2° *Les chiffres indiqués page 16, pour les rapports en poids des différentes parties du grain de blé, et pages 17 et 18, pour leur composition chimique, ne sont que des moyennes pouvant varier dans une assez large mesure suivant l'espèce et la qualité du blé considéré.*

(1) BALLAND, — *Les Aliments*, p. 93 et 94.

Formation, maturation et germination du grain de blé.

Dans les pages qui précèdent, nous avons considéré le grain de blé tel que nous le révèlent l'examen microscopique et l'analyse chimique.

Mais pour bien comprendre la complexité du problème de son utilisation alimentaire, nous ne devons pas perdre de vue que le grain de blé est un *être vivant*.

Pendant sa croissance, il transforme et met en réserve les matières azotées, hydrates de carbone et matières grasses que lui fournissent les autres parties de la plante.

Pendant sa germination, il leur fait subir la transformation inverse, pour assurer à la nouvelle plante le premier stade de son développement.

On sait que ces transformations chimiques s'effectuent sous l'influence de certaines *diastases* : les unes hydrolysent l'amidon (*amylase*) (1), le gluten (*gluténase*) (2), les hémicelluloses (*cytase*) (3), ou saponifient les graisses ; d'autres agissent sur les nouveaux corps ainsi obtenus pour les oxyder (*tyrosinase*) (2), ou pour les dédoubler (*alcoolase* ou *zymase*) (4).

(1) L'*amylase* agit sur l'amidon pour le transformer en *dextrine* et *maltose*. Une partie en poids d'*amylase* peut liquéfier en quelques minutes deux mille parties d'amidon.

(2) La *gluténase* agit sur le gluten en donnant des acides aminés et notamment de la *tyrosine* ($C^9H^{11}N O_3$). Ce produit est oxydé par une nouvelle diastase, la *tyrosinase*, avec formation d'une substance brune.

(G. BERTRAND et MUTERMILCH.)

(3) La *cytase* se développe surtout au début de la germination. Cependant, elle existe le plus souvent en petites quantités dans la graine au repos. Elle est sécrétée par le *scutellum*.

(BROWN et MORRIS.)

(4) L'*alcoolase* peut être extraite, par une pression énergique, des cellules de levure de bière. Elle agit en l'absence de ces cellules et même en présence de doses d'antiseptiques qui anéantiraient

Ces diastases existent dans le grain de blé bien avant sa maturation (1).

Elles sont localisées dans l'embryon et l'assise protéique.

Entre sa maturation et sa germination, la vie ralentie du grain se manifeste par l'absorption d'oxygène et le dégagement d'acide carbonique.

La dessiccation à basse température suspend les échanges gazeux du grain avec l'extérieur sans abolir son pouvoir germinatif.

On admet que dans cet état de *vie suspendue*, « l'embryon peut, néanmoins, respirer de façon imperceptible aux dépens de l'oxygène inclus dans les tissus de la graine. Lorsque la provision de ce dernier gaz est épuisée, la graine peut mourir, soit d'inanition, soit d'asphyxie, et l'on conçoit, conformément d'ailleurs à l'observation, que son pouvoir germinatif décline peu à peu jusqu'à l'abolition totale (2).

l'activité des cellules qui l'ont fournie. Les cellules des grains et des fruits, privées d'oxygène, se comportent comme la levure de bière et donnent naissance à la fermentation alcoolique (LECHARTIER et BELLAMY, 1869; PASTEUR, MUNTZ, GODLEWSKI et POLZÉNIUSZ, 1888-1901; MAZÉ, 1900), aux dépens des hydrates de carbone (amidon transformé en maltose et glucose).

(G. ANDRÉ, *Chimie agricole*, 1914.)

(1) On sait que les grains de blé germent avant d'avoir atteint la moitié de leur dimension normale et qu'ils peuvent produire des plantes aussi vigoureuses que les grains de semence.

(VAN TIEGHEM, *Botanique*, p. 897, Paris 1884.)

En faisant macérer dans l'eau à une température de 20° ou 25° des grains de blé non mûrs, on constate la formation de quantités croissantes de glucose aux dépens de l'amidon.

(BALLAND, *Les Aliments*, 1907, p. 25.)

(2) P. BECQUEREL (1906) a montré par des expériences de germination ayant porté sur 550 espèces de graines, provenant du Muséum et dont l'âge était parfaitement connu, que leur maximum de longévité n'atteignait pas cent ans.

La prétendue germination de graines qui auraient séjourné plus de quatre mille ans dans les tombeaux égyptiens paraît donc une légende dénuée de fondement.

(G. ANDRÉ, *Chimie agricole*, 1914, p. 284.)

Nous allons voir de quelle importance est la connaissance de la vie du grain de blé et de la localisation de ses éléments actifs pour l'utilisation du grain.

Extraction du contenu du grain de blé.

MOUTURE PRIMITIVE. — L'homme n'est pas, comme les oiseaux, organisé pour digérer le blé absorbé à l'état de grain entier.

Aussi, dès la plus haute antiquité, trouvons-nous la coutume de broyer le grain, pour l'utiliser sous forme de farine, et même pour le panifier.

La Genèse dit, en effet (chap. XVIII) :

« Le Seigneur apparut à Abraham dans la vallée de Mambré (1900 avant J.-C.). Abraham leva les yeux et trois hommes se montrèrent à lui. Aussitôt il courut devant eux et se prosterna à terre, et il dit : « Seigneur, si j'ai trouvé grâce devant vos yeux, arrêtez-vous près de votre serviteur. Je vous servirai un peu de *pain* ; reprenez vos forces ; vous continuerez ensuite votre chemin. »

Ils lui répondirent : « Faites ce que vous avez dit. »

Abraham alla promptement dans sa tente, vers Sarah, et lui dit : « Pétrissez vite trois mesures de *farine*, et faites cuire des *pains* sous la cendre. »

Les instruments employés à cette époque pour broyer le blé devaient être assez sommaires. C'était sans doute la pierre plate avec bourrelet au pourtour, sorte de mortier rectangulaire, qu'on a retrouvé en Egypte, en

Chaldée, dans l'Europe centrale, et qu'on trouve encore aujourd'hui chez quelques peuplades de l'Afrique et de l'Amérique tropicale (1).

Plus tard, on utilisa le mortier, tel que nous le connaissons, et tel qu'on l'emploie encore en Chine et à Madagascar pour le décorticage du riz.

Il revenait aux Romains d'en faire une machine à ren-

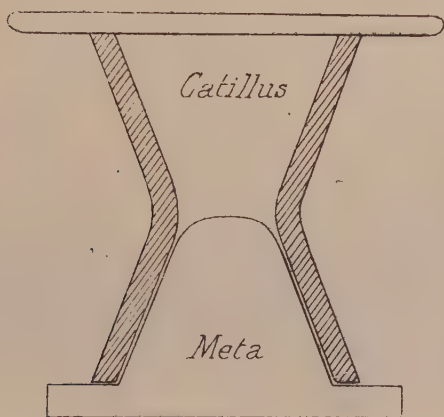


FIG. 8.

Représentation schématique des premières meules.

dement continu. Une pierre conique en forme de borne, la *meta*, était coiffée par une autre pierre évidée en forme de sablier (fig. 8), le *catillus*. Celui-ci, muni d'une barre de bois horizontale et mû par des animaux ou des esclaves, tournait sur la *meta*. Le grain, qu'on versait

(1) FLEURENT. — *Le pain de froment*, 1911, p. 17.

dans l'entonnoir supérieur, s'écrasait entre les deux pierres, et sortait à la partie inférieure à l'état de farine.

À l'époque gallo-romaine, la *meta* s'aplatit ; elle est à peine bombée. Et pour diminuer la masse à mettre en mouvement, l'entonnoir supérieur du catillus est supprimé. Le catillus se réduit à un disque, concave à sa partie inférieure, et percé de part en part d'un trou central, par où on fait arriver le grain.

À cette époque, on commence aussi à utiliser, au lieu des pierres brutes, des meules rayonnées, ressemblant déjà à celles utilisées de nos jours.

La farine obtenue par cette mouture primitive est un mélange des différentes parties du grain de blé : albumen, embryon, assise protéique, enveloppe.

Dans ce mélange, l'enveloppe, l'assise protéique et l'embryon sont représentés par des particules plus grossières, plus dures, plus grasses, plus colorées, qui font tache sur la blancheur de l'albumen pulvérisé.

L'idée de les séparer par le tamisage paraît avoir des origines très lointaines. Il semble aussi qu'on ait reconnu immédiatement un avantage à cette séparation, qui permet d'obtenir, d'une part, le son, de l'autre, la *fleur de farine*.

« Lorsque quelque personne fera une offrande de gâteau à l'Eternel », écrit Moïse dans le Lévitique (1), « son offrande sera de *fleur de farine*... Et quand tu feras une offrande de ce qui est cuit au four, que ce soit des gâteaux sans levain, de *fine farine*... »

Le broyage, en effet, a pour résultat de mélanger

(1) *Lévitique*, chap. II.

intimement l'embryon et l'assise protéique, parties vivantes du grain, avec les substances de réserve contenues dans l'albumen. Les diastases entrent en action. Dans une farine semblable, on constate l'élévation de l'acidité, puis la fluidification du gluten. Celui-ci devient de plus en plus difficile à extraire par malaxation. Il perd son élasticité. Nous verrons plus loin les difficultés qui en résultent pour la panification.

On conçoit donc que, dès les temps les plus reculés, l'homme ait cherché à remédier à ces inconvénients, en séparant autant que possible de l'albumen les substances qui favorisent son altération et qui gênent la préparation du pain.

Une grosse erreur a été commise par les hygiénistes qui ont attribué cette idée aux industriels modernes, et qui lui ont donné pour origine un désir de lucre.

Nous allons voir, en examinant les procédés de mouture modernes, qu'ils consistent simplement dans le perfectionnement des appareils destinés à obtenir séparément, d'un côté, les réserves nutritives du grain, de l'autre, les substances très altérables ou altérantes, et celles considérées jusqu'ici comme inutiles à notre alimentation.

Moutures modernes. — Meules et cylindres.

Pendant des siècles, la mouture ne comporta qu'un seul broyage et un seul tamisage. Il en résultait une perte considérable de farine qui s'en allait avec le son lorsque, par un tamisage trop fin, on voulait éliminer les fines particules d'enveloppe et d'embryon mélangées à la farine.

Le premier, en 1760, le boulanger Malisset (1) eut l'idée d'effectuer la mouture en plusieurs opérations séparées par des tamisages ou blutages. Dans cette mouture, appelée mouture *ronde* ou *haute*, la meule supérieure, mobile, la *courante*, est d'abord suffisamment éloignée de la meule inférieure, fixe, la *gisante*, pour que le grain ne soit pas complètement broyé à son premier passage.

Cette opération permettait ainsi de séparer plus aisément l'enveloppe et le germe, moins finement pulvérisés que dans la mouture ancienne, ou mouture *basse*. Elle libérait les gruaux du centre du grain (gruaux blancs) et laissait adhérents au son les gruaux de la périphérie (gruaux bis).

Il suffisait ensuite de rapprocher progressivement les meules pour remoudre ces gruaux et obtenir d'abord la farine des gros gruaux blancs, puis celle des petits gruaux blancs et enfin celle des gruaux bis.

(1) Dans son *Manuel du Meunier*, publié en 1776 à Paris, BÉGUILLIET, rendant compte de cette expérience, écrit que ce procédé permet d'extraire 72 à 75 % de farine, mais que celle-ci doit être bien purgée de son, car le son nuit à la conservation des farines, tache leur blancheur, rend le pain aigre, bis, fait poids et non nourriture. »

(FLEURENT, *Le pain de froment*, p. 7.)

Le rendement du blé en farine s'éleva à 72 et 75 % ce qui était en 1914 encore le rendement approximatif de nos moulins (1).

Au même moment on perfectionnait le tamisage par l'emploi des bluteries *prismatiques* (2), qui sont encore en usage de nos jours. Plus tard, l'introduction dans la meunerie des *sasseurs* (3) facilita le classement des gruaux et leur purification.

On voit que, dès avant l'introduction des cylindres en meunerie, on savait retirer du blé les divers éléments qui le composent, et que l'on éliminait déjà la plus grande partie possible de l'enveloppe, de l'embrion et de l'assise protéique.

En 1873, la maison Ganz, de Budâpest (4), présenta à la meunerie des appareils de broyage nouveaux, où les meules de pierre étaient remplacées par des cylin-

(1) Il convient de définir ici deux termes de meunerie qui sont fréquemment employés l'un pour l'autre. Si, de 100 kilos de blé on extrait 75 kilos de farine, on dit que le *taux d'extraction* est de 75 %, ou bien que le *taux de blutage* est de 25 %.

(2) Les bluteries sont essentiellement composées d'un tamis affectant la forme, soit d'un cylindre (*bluteries rondes*), soit d'un prisme, qui peut être hexagonal ou d'un plus grand nombre de faces (*bluteries prismatiques*). Ce tamis est animé d'un mouvement circulaire autour de son axe, qui est légèrement incliné sur l'horizontale. Les produits à bluter arrivent par l'extrémité la plus élevée; les *refus*, trop gros pour passer à travers les mailles, sont recueillis à l'autre bout.

Il existe également des *bluteries centrifuges*, où les produits à bluter arrivent par un cylindre central, qui tourne en sens inverse du cylindre extérieur portant le tamis. Le cylindre central, tournant à grande vitesse, projette les produits sur le tamis, qui travaille ainsi sur toute sa circonférence. Ces bluteries ont un rendement plus élevé que les bluteries simples.

(3) Un sasseur est essentiellement composé d'un tamis animé d'un mouvement de va-et-vient et traversé par un fort courant d'air. Le sasseur classe les produits, non seulement d'après leur grosseur, mais aussi d'après leur densité.

(4) FLEURENT. — *Le pain de froment*, 1911, p. 25.

dres de fonte trempés, tournant à des vitesses différentielles. Ces cylindres sont répartis dans un nombre d'appareils suffisant pour assurer la mouture progressive d'une façon continue et obtenir un haut rendement journalier.

Les premiers passages se font entre des cylindres cannelés (broyeurs), les derniers entre des cylindres lisses (convertisseurs), dont le rôle est de convertir les gruaux en farine.

D'un broyeur à l'autre, le blé est soumis à l'action de cylindres de plus en plus rapprochés, à cannelures de plus en plus fines, et dont les vitesses différentielles sont elles-mêmes variables.

Dans le premier appareil, l'écartement des cylindres étant très grand et les cannelures larges, le grain est simplement comprimé, de sorte qu'il se fend suivant la ligne de moindre résistance, c'est-à-dire suivant le sillon ; ainsi partagé en deux, il laisse échapper le germe et en même temps la poussière qui dans le sillon n'avait pas été enlevée par le nettoyage préliminaire.

Aussi, la farine que donne cette opération (1 % environ) est désignée communément sous le nom de *farine noire*, et ultérieurement mélangée au son (1).

(1) Quelques définitions de termes de métier ne sont pas ici inutiles. On appelle *issues*, tout ce qui n'est pas transformé en farine. Les issues comprennent les *sons*, classés en gros sons, petits sons, recoupes suivant leur grosseur, et les *remoulages* provenant du convertissage des gruaux.

Les sons sont constitués par des fragments du péricarpe, de l'assise protéique, du germe. Les remoulages sont surtout des débris celluloseux de l'enveloppe des gruaux.

**Examen comparatif du broyage par les meules
et par les cylindres et des produits obtenus.**

Nous avons dit que les meules sont rayonnées, c'est-à-dire qu'elles sont creusées, sur leur surface travaillante, d'une série de sillons réguliers (fig. 9), qui ne sont pas,

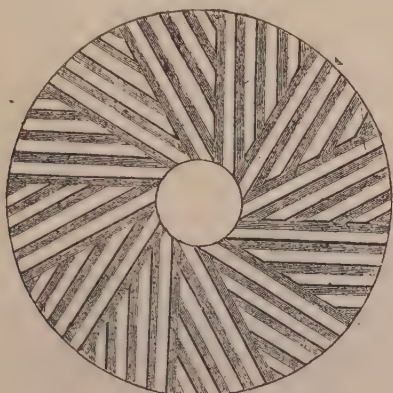


FIG. 9. — Meule moderne (1).

à proprement parler, des rayons, et dont le tracé étudié est soumis à des règles précises.

« Ces rayons sont formés par la rencontre d'une face verticale ou presque verticale, *l'escarpe*, et d'une face très inclinée appelée *rampant*. L'espace plan compris entre deux rayons prend le nom de *portant*. La surface de la meule gisante est plane dans toute son étendue, mais, particularité très importante à signaler, celle de la meule courante ne l'est pas. En effet, sur la moitié environ de la longueur de son rayon, la surface intérieure de cette meule est évidée en forme de cône très aplati, de manière à réserver près de l'*œillard*, c'est-à-

(1) D'après FLEURENT. — *Loc. cit.*, p. 25.

dire près de l'ouverture centrale d'alimentation, une entrée qui permette au grain de pénétrer aisément entre les engins. Cette entrée diminue d'épaisseur au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre, de telle manière que finalement la surface du cône vient se raccorder à la périphérie avec le plan de la meule gisante.

« Dans ces conditions, il est facile de se rendre compte du travail qui s'accomplit. La meule courante étant en mouvement, le grain entrant par l'œillard, pénètre entre deux rayons superposés, et, poussé par la force cen-

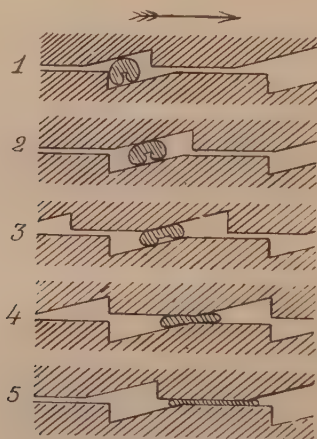


FIG. 10. — Schéma indiquant le principe d'action des meules.

trifuge; chemine en spirale jusqu'à la sortie. Il est alors soumis, d'abord à une double action de compression : d'une part, parce que le parallélogramme formé primitivement par deux rayons superposés diminue de hauteur (fig. 10) ; d'autre part, parce que l'espace compris

(1) D'après FLEURENT. — *Loc. cit.*, p. 78.

entre les meules diminue d'épaisseur au fur et à mesure que le grain chemine vers la périphérie. Il est soumis ensuite et simultanément à l'action cisaillante des rayons de la meule courante. Et c'est ainsi que le grain va se fragmentant en produits de plus en plus fins, qui, finalement, sont réduits en farine entre les portants, ceux-ci agissant en même temps sur l'enveloppe pour la débarrasser, comme de véritables râpes, de l'albu-men qui adhère à sa surface interne.

« Les meules agissent donc par pression continue et par chocs répétés, et l'on conçoit, non seulement que leur frottement a pour effet d'échauffer considérablement les produits de la mouture et d'en diminuer la valeur boulangère, mais aussi que les recouplements successifs dont ceux-ci sont l'objet tend à amener une partie de l'enveloppe et du germe à un degré de très grande finesse, ce qui permettra aux débris ainsi formés de se mélanger intimement à la farine qui traversera la soie des bluteries.

« Ces inconvénients n'avaient pas échappé depuis longtemps à nombre d'observateurs. C'est pour y remédier, dans une certaine mesure, qu'on a substitué à la mouture en une seule opération, dite *basée*, la mouture *haute*, dans laquelle les meules, d'abord éloignées, sont ensuite rapprochées peu à peu, pour réduire progressivement le grain en gruaux, en farine et en son.

« Mais cette manière de procéder ne fut qu'un palliatif, et c'est dans une transformation complète du principe même de la mouture, par l'emploi des engins métalliques et cylindriques, que le remède a été trouvé (1). »

(1) E. FLEURENT. — *Le pain de froment*, 1911, p. 79.

Les cylindres, en effet, comme l'a montré M. J.-A. GRANDVOINET, professeur de génie rural à l'Institut national agronomique, et comme le rappelle E. FLEURENT, dans l'étude citée plus haut, agissent non plus par chocs et par râpages, mais, en raison de la forme hélicoïdale de leurs cannelures, par piochage et étirage.

« Ce piochage et cet étirage correspondent en somme », dit FLEURENT, « à un véritable raclage de l'albumen sur le son ouvert et étalé, la pression qui s'exerce simultanément facilitant le travail. Ici, il n'y a donc pas de chocs brusques comme dans l'action des meules ; de plus, comme le grain n'est en contact que pendant un instant très court avec l'engin, l'échauffement est autant que possible évité. Pour le porter au minimum et pour curer progressivement le son, on opère la mouture en cinq ou six passages successifs. Dans chacun de ces passages les cylindres vont en se rapprochant de plus en plus, au fur et à mesure que la couche de farine retenue contre le son diminue elle-même d'épaisseur. On travaille ainsi avec une pression aussi faible que possible. On perfectionne encore ce travail en faisant varier le nombre des cannelures et le rapport des vitesses, au fur et à mesure que le travail avance (1). »

On conçoit que les cylindres permettent d'obtenir des farines plus pures, c'est-à-dire contenant moins de débris finement pulvérisés de l'enveloppe, de l'assise pro-

(1) E. FLEURENT. — *Loc. cit.*, p. 83.

téique et de l'embryon, moins de *piqûres*, comme on dit en meunerie (1).

Voici, d'une manière très approximative (2), comment se répartissent en moyenne les produits des différents passages, dans la mouture par meules et celle par cylindres, pour un même taux d'extraction de 75 % :

AVEC LES MEULES

Farine première	Mouture de blé.....	46	} 66	} 75
	Remouture des gruaux (1 ou 2 fois) ..	20		
Farine deuxième.		4		
Farine troisième.....		3		
Farine bise		2		
Sons et issues			23	
Déchets, pertes et évaporation.....			2	
TOTAL				100

AVEC LES CYLINDRES

Farine noire (envoyée aux issues)		1	} 66	} 75
Farine blanche	de broyage	15		
	de convertissage	51		
Farines bises (broyage, convertissage et brosse)		8	} 2	} 23
Sons et issues				
Déchets, pertes et évaporation				2
TOTAL				100

Mais, pour bien comprendre ces chiffres, il faut se rappeler que sous chacune des dénominations employées, il y a des produits différents, suivant qu'il s'agit de meules ou de cylindres.

Le classement des farines de meules en farine pre-

(1) L'élimination de ces piqures a été encore améliorée par les perfectionnements apportés aux appareils de blutage. Les *plansichters*, assemblage de tamis plans, animés d'un mouvement analogue à celui du tamis à main, permettent, mieux que les bluteries à mouvement circulaire, de séparer les produits, non seulement d'après leur grosseur, mais aussi d'après leur densité.

(2) Ed. RABATÉ. — *Le blé, la farine, le pain*, 1909, p. 62.

mière, deuxième ou troisième, se fait suivant la quantité plus ou moins grande de gruaux gris, d'enveloppes et d'impuretés qu'elles contiennent. *Toutes en contiennent.*

Dans les farines de cylindres la séparation est plus nette. La farine blanche contient presque exclusivement le centre de l'albumen, c'est-à-dire le produit de la mouture des gruaux blancs ; la farine bise et la farine noire contiennent le reste de l'albumen et les fragments d'enveloppes, d'embryon et d'assise protéique qui n'ont pu être éliminés avec les sons.

Quant aux sons, dans la mouture par meules, ils contiennent une quantité non négligeable de farine. Ils en contiennent beaucoup moins lorsqu'ils sont issus des cylindres.

A taux d'extraction égal, et surtout si celui-ci est un peu élevé, l'ensemble des farines extraites est nettement supérieur pour la panification avec les farines de cylindres.

Dans la mouture par meules, même dans la mouture haute, il arrive que la farine ait perdu par *échauffement* une partie de ses qualités panifiantes.

Elle les perd également plus vite avec le temps, par suite de l'action des diastases répandues dans sa masse.

Contrairement à une opinion que l'on a cherché à répandre, si l'on vise à la séparation la plus parfaite possible de l'enveloppe et des autres parties du grain, c'est avec les cylindres que l'on obtient le taux d'extraction le plus élevé.

Avec des cylindres fraîchement taillés, on obtient un son sec au toucher, couleur de bure sur les deux faces.

Le résultat obtenu est encore plus parfait si l'on soumet les sons à l'action de la brosse à sons, qui achève de détacher les particules restées adhérentes à l'enveloppe.

Il y a lieu de remarquer que le centre de l'albumen (gruaux blancs), représentant environ 55 à 60 % du poids du grain, s'extraît très facilement. A mesure que l'on approche de la périphérie, les difficultés d'extraction augmentent, par suite de l'adhérence de plus en plus forte des cellules entre elles et à l'enveloppe. Pour obtenir le taux d'extraction maximum, il faut un réglage minutieux des cylindres. La force nécessaire est plus considérable ; l'usure des appareils aussi.

On conçoit que la valeur marchande des produits alimentaires enlevés au son en dernier lieu, produits qui ne peuvent être incorporés qu'aux farines bises, c'est-à-dire de dernière qualité, ne soit plus suffisante pour couvrir les frais de l'opération lorsque celle-ci est poussée trop loin, d'autant plus que dans ce cas le son perd beaucoup de sa valeur.

Aussi, il ne faut pas s'étonner que l'industrie meunière, même la mieux organisée, ne dépassât pas, avant 1914, un taux d'extraction de 72 à 78 %, selon les blés traités. C'est à peu près la totalité de l'albumen.

En résumé, les perfectionnements apportés à la meunerie depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours ont toujours tendu vers le même but : séparer l'albumen, réserve nutritive du grain de blé, des parties considérées comme inutiles (enveloppe), ou nuisibles (embryon et assise protéique) à sa conservation, à sa panification, à son assimilation.

Examen général des farines (1).

Les qualités d'une farine dépendent naturellement du blé dont elle est extraite et de son mode d'extraction.

Nous avons vu que les blés durs, qui donnent généralement le taux d'extraction le plus élevé, sont aussi généralement les plus riches en matières azotées. Certains blés tendres en contiennent trop peu. La bonne réussite de la panification dépend de la quantité de gluten en présence dans la farine et aussi, comme nous l'avons vu, de la composition de ce gluten (2).

L'examen des qualités panifiantes d'une farine se ramène donc surtout à l'examen de son gluten. Cet examen permet, en mêlant d'une façon judicieuse des farines dont les composants se complètent, d'obtenir un mélange présentant les qualités boulangères requises.

EXAMEN DU GLUTEN. — Pour que le dosage et l'examen du gluten de diverses farines donnent des résultats comparables, il est nécessaire qu'ils soient effectués rigoureusement dans les mêmes conditions (température et composition de l'eau de lavage, durée de l'opération, temps au bout duquel s'effectue la pesée). La quantité de farine traitée n'est pas non plus indifférente, d'après BALLAND (3), en raison probablement du temps plus

(1) Il est bien entendu que nous ne nous occupons ici que de la farine de froment, sans addition de farines de succédanés. L'étude de celles-ci, quoique très intéressante, nous entraînerait hors de notre sujet.

(2) En gliadine et gluténine.

(3) BALLAND. — *Les Aliments*, tom. I, p. 118.

long qui est nécessaire pour retirer le gluten des gros pâtons.

On doit à cet auteur, dont les nombreux travaux et analyses sur les blés et les farines ont fait un spécialiste dans ces questions, une série de remarques fort intéressantes concernant le dosage du gluten et son examen, ses modifications sous l'influence de certains traitements physiques et chimiques, et suivant l'âge de la farine considérée.

DOSAGE DU GLUTEN, d'après BALLAND (1). — « On fait une pâte avec 33 gr. 33 de farine et 15 à 18 cc. d'eau ; on laisse au repos pendant une demi-heure, puis on procède au lavage du pâton, à la main, en se plaçant sous un mince filet d'eau et au-dessus d'un tamis à mailles serrées, pour éviter toute perte de gluten. On lave, en comprimant la masse jusqu'à ce que l'eau de lavage s'écoule très claire ; on rassemble les débris de gluten tombés sur le tamis ; on exprime pour se débarrasser de l'eau retenue mécaniquement ; on pèse et l'on multiplie par trois le nombre trouvé. » On a ainsi la proportion pour 100 du *gluten humide*.

Pour doser le *gluten sec*, on étend en couche mince le gluten humide sur une lamelle de verre tarée et on laisse à l'étuve le temps nécessaire pour la dessiccation ; on retranche du poids trouvé le poids de la plaque de verre. Le gluten est tellement adhérent au verre qu'on

(1) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 108.

ne peut l'en détacher qu'en mettant les plaques dans l'eau pendant plusieurs heures (1).

Dès que l'on s'écarte de ces conditions, on obtient des résultats différents : c'est ce qu'ont déjà constaté BÉNARD et GIRARDIN (2), à propos du temps qui s'écoule entre la préparation des pâtons et l'extraction du gluten.

En reprenant les expériences de ces auteurs avec des farines militaires ayant deux mois de mouture, BALLAND a trouvé comme gluten humide, pour cent de farine :

	Farines de blés durs		Farines de blés tendres	
	1	2	1	2
Après un repos de 1/2 heure ...	36,0	39	28,0	37,5
— 1 — ...	38,0	40	28,5	»
— 2 — ...	39,2	44	29,0	40,0
— 3 — ...	38,3	42	31,0	»
— 4 — ...	36,4	39	32,0	»
— 5 — ...	»	»	31,0	»
— 6 — ...	»	34	»	»
— 7 — ...	»	»	28,0	»
— 8 — ...	»	»	»	30,5

Le gluten, dans les pâtons, n'atteint donc son maximum de développement qu'après un certain temps de

(1) « Le gluten que l'on vient d'extraire des farines (à l'état humide), jeté dans une capsule contenant de l'eau bouillante, va au fond, puis surnage, après quelques minutes, en prenant la forme spongieuse. Il ne colle plus aux mains, il a perdu son élasticité et, contrairement à ce qui se passe pour le gluten desséché à l'air libre et même à l'étuve, il ne la reprend pas lorsqu'on le remet dans l'eau ordinaire. Cette particularité, signalée par PARMENTIER, en 1773 (BALLAND, *Chimie alimentaire*, p. 41), a été mise à profit par Aimé GIRARD, pour le dosage du gluten à l'état sec (C. R., *Acad. des Sciences*, 26 avril 1897). En coagulant le gluten, on facilite, en effet, sa dessiccation et on évite l'adhérence aux parois des capsules ou des lames de verre sur lesquelles on l'étend avant de le porter à l'étuve. » (BALLAND, *Les Aliments*, p. 153.)

Nous ne signalons que pour mémoire ce procédé de dosage qui se classe pour la précision entre le dosage à l'état humide et le dosage à l'état sec. C'est ce dernier qui, sans donner des chiffres rigoureusement exacts, donne les résultats le mieux comparables.

(2) *Journal de Pharmacie et de Chimie*, 1881.

repos. Ce temps varie avec la nature du blé ; il varie aussi avec le degré d'affleurement de la farine (1).

Le gluten ainsi obtenu, même longuement lavé, n'est jamais une matière définie. Il renferme toujours de l'amidon, de la cellulose, des matières grasses, des matières minérales.

Voici trois analyses de gluten effectuées par BALLAND (2).

	1	2	3
Eau.....	8,47	8,35	9,84
Amidon.....	2,48	4,50	11,75
Matière grasse.....	3,68	2,80	2,94
Ligneux.....	1,91	0,90	0,71
Cendres.....	1,25	0,90	1,00
Gluten (par différence).....	82,21	82,55	73,76
	100,00	100,00	100,00

L'amidon a été calculé d'après la quantité de glucose trouvée dans la liqueur acide employée au dosage du ligneux.

D'autre part, le gluten ainsi rassemblé ne contient pas la totalité des matières azotées de la farine. Non seulement celles qui sont solubles, mais aussi une partie des matières azotées insolubles, sont entraînées avec l'amidon dans le lavage du gluten.

En filtrant l'eau de lavage, après repos et décantation et en analysant le résidu sur filtre et l'extrait sec de la

(1) C'est-à-dire avec son degré de finesse. On dit qu'une farine est *fleurante* lorsqu'elle est douce au toucher et qu'elle laisse aux doigts une poudre très fine. On dit qu'elle est *gruanteuse* lorsqu'on sent les gruaux rouler sous les doigts.

On reconnaît le degré d'affleurement d'une farine à la quantité de poudre impalpable qui passe au travers d'un tamis très fin. Les farines de meules trop affleurées ont souvent perdu, par échauffement, une partie de leurs qualités panifiantes.

(2) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 125.

liqueur filtrée, BALLAND a trouvé les chiffres suivants (1) :

EXTRACTION DES MATIÈRES AZOTÉES DE DIVERSES FARINES.

I. — *Farine première récente.*

		Dont pour la matière azotée :
Eau.....	13,80	
Gluten sec.....	8,64	7,66
Résidu sec laissé sur filtre.....	71,28	0,43
Extrait sec de la liq. filtrée.....	4,05	0,86
Pertes.....	2,23	
	100 »	

II. — *Farine première 3 ans.*

		Dont pour la matière azotée :
Eau.....	13,00	
Gluten sec.....	8,55	7,92
Résidu sec laissé sur filtre.....	71,70	0,60
Extrait sec de la liq. filtrée.....	4,95	0,98
Pertes.....	1,80	
	100 »	

III. — *Farine seconde récente.*

		Dont pour la matière azotée :
Eau.....	13,30	
Gluten sec.....	8,75	7,55
Résidu sec laissé sur filtre.....	70,95	0,86
Extrait sec de la liq. filtrée.....	4,80	1,10
Pertes.....	2,20	
	100 »	

IV. — *Farine pain de guerre 3 ans.*

		Dont pour la matière azotée
Eau.....	13,30	
Gluten sec.....	7,95	7,22
Résidu sec laissé sur filtre.....	70,80	0,86
Extrait sec de la liq. filtrée.....	4,89	1,12
Pertes.....	3,06	
	100 »	

(1) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 157.

V. — Farine blés durs manutention militaire 2 ans.		Dont pour la matière azotée :
Eau.....	12,10	
Gluten sec.....	12,85	11,28
Résidu sec laissé sur filtre.....	64,25	2,41
Extrait sec de la liq. filtrée ..	7,95	1,91
Pertes.....	2,85	

100 »

Si l'on rapporte ces chiffres au total des matières azotées extraites, on trouve la répartition suivante :

RÉPARTITION DES MATIÈRES AZOTÉES EXTRAITES :

	I Far. première récente	II Far. première 3 ans	III Far. seconde récente	IV Far. pain de guerre 3 ans	V Far. blé dur manut. militaire 2 ans
Gluten sec.....	83,58	83,36	79,39	78,48	72,31
Résidu sur filtre.	4,81	6,32	9,04	9,34	13,44
Extrait liqueur filtrée.....	9,61	10,32	11,57	12,18	12,25
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Si, d'autre part, on examine la richesse en matières azotées du gluten sec, pour chacune de ces farines, on obtient respectivement les chiffres suivants :

88,88 % 92,63 % (1) 86,34 % 90,86 % 87,80 %

On voit que le gluten se modifie pendant le vieillissement des farines ; il perd la faculté de se rassembler et il est entraîné en plus grande quantité par l'eau de la-

(1) LINDET et AMMANN (*Bul. Soc. Chim.*, 1905, p. 1011). en opérant sur des glutens très fortement malaxés et provenant vraisemblablement de farines blutées à des taux élevés, ont obtenu jusqu'à 98,5 % de matières azotées.

vage, tant à l'état insoluble qu'à l'état soluble. Mais dans ce cas, comme une plus grande quantité d'amidon se trouve elle-même entraînée par l'eau de lavage, le gluten sec reste proportionnellement plus riche en matières azotées.

On remarque aussi que les farines les plus pures sont celles dont le gluten se rassemble le plus aisément, et contient, toutes proportions gardées, le plus de matières azotées.

HYDRATATION DU GLUTEN. — C'est en s'hydratant que le gluten se rassemble et prend cette forme agglutinante et élastique qui permet de l'extraire par la malaxation.

La quantité d'eau qu'il absorbe est très variable, de sorte qu'il n'y a aucun rapport défini du gluten humide au gluten sec.

BALLAND, opérant sur un lot de 12 farines, qui titraient uniformément 27 % de gluten humide, a trouvé, pour le gluten sec, des chiffres différents compris entre un maximum de 12,10 et un minimum de 7,90.

L'eau absorbée variait donc de 52 % à 71,13 %.

Retenons les faits suivants (2) dont nous verrons plus loin l'importance :

1° Les farines les plus pures sont celles dont le gluten présente le taux d'hydratation le plus élevé ;

2° La quantité d'eau retenue par le gluten diminue lorsque l'acidité de la farine augmente.

Or, « les meilleures farines, au point de vue de la panification, sont celles dont le gluten retient la plus forte quantité d'eau » (1).

(1) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 150.

Un certain nombre de substances en solution concentrée (1) ont la propriété de durcir le gluten humide. Celui-ci perd de l'eau et devient analogue à du gluten desséché. Par lavage à grande eau il reprend son élasticité et son poids primitif.

Parmi ces substances, le chlorure de sodium mérite une mention particulière. Le gluten, trituré dans une eau saturée de chlorure de sodium, perd de son poids et acquiert la consistance du caoutchouc. Par lavage à grande eau, il reprend son poids primitif avec des qualités d'élasticité qu'il n'avait pas toujours avant cette opération. Cette propriété est bien connue des boulangers, qui ajoutent du sel à leur pâte lorsqu'elle manque de consistance, afin de lui donner « du corps » (2).

VIEILLISSEMENT DES FARINES. — Il nous reste à voir, à mesure que les farines vieillissent, comment elles se modifient, sous l'influence de quelles causes, et quelles en sont les conséquences au point de vue de la panification.

C'est un fait d'expérience qu'une farine fraîchement moulue ne possède pas les qualités panifiantes qu'elle présentera quelques mois plus tard. Il y a avantage à la laisser « rassir » pendant un temps qui varie suivant la nature de la farine. Puis celle-ci subit des modifications plus ou moins rapides, plus ou moins intenses, et perd de plus en plus de sa valeur première.

Cette valeur croît donc pendant un certain temps, passe par un maximum, puis décroît de plus en plus.

(1) Acétate d'ammonium — Chlorure de sodium — Carbonate de potasse — Chromate de potasse — Sulfates de Cu, Fe, Mg, Zn — Alun — Glycérine.

(2) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 122.

L'examen de la farine montre que ces variations coïncident exactement avec celles du pouvoir d'hydratation du gluten.

« Pour certaines farines du Chili, par exemple », écrit BALLAND, « le gluten est tellement fluide lorsqu'elles sont récentes, que l'on peut à peine le réunir ; après dix-huit mois de mouture, au contraire, le gluten est consistant et il se rassemble vite (1). »

M. RABY a cité le cas d'une farine de blé dur de Kubanka, qui contenait un peu moins de 37 % de gluten humide à son entrée en magasin ; trois mois après elle en fournissait 39 %, puis 43 % au bout de six mois ; enfin 48 % au bout d'un an. La diminution survint alors, mais après deux ans de garde la farine rendait encore plus de gluten qu'au début (2).

En général, c'est après deux à trois mois que les farines possèdent au maximum leurs qualités panifiantes. Nous avons dit que celles-ci sont en rapport direct avec le pouvoir d'hydratation du gluten.

Nous allons voir quelles sont les causes qui modifient ce pouvoir et provoquent les altérations des farines qui vieillissent.

ACIDITÉ ET MATIÈRES GRASSES. — L'acidité normale (3) d'une farine ayant moins de trois mois de mouture oscille entre 0 gr. 015 et 0 gr. 040. Elle augmente progressivement et peut s'élever jusqu'à 0,300, 0,400 et même davantage, suivant la farine considérée.

(1) BALLAND. — *Les blés, les farines et le pain*, p. 71.

(2) *Union pharmaceutique* (décembre 1885). — *Observations relatives à l'analyse des farines et à leur conservation*.

(3) Représentée en acide sulfurique monohydraté. (BALLAND, *Les Aliments*, p. 131.)

L'acidité atteint des proportions d'autant plus élevées, et d'autant plus rapidement, que la farine est plus riche en éléments de la périphérie du grain (gruaux gris, embryon, assise protéique).

Pour fixer les idées, voici quelques chiffres obtenus par BALLAND (1) un mois, quatre mois, six mois et huit mois environ après la mouture d'un blé tendre de Russie, moulu en octobre 1882 ; l'acidité a subi les écarts suivants :

	ACIDITÉ			
	11 nov. 82	24 fév. 83	22 avril 83	6 juin 83
Farine première.	0,023	0,053	0,071	0,081
— premiers gruaux.	0,125	0,466	0,558	0,609
— deuxièmes gruaux. ...	0,144	0,593	0,681	0,762
— totale.	»	0,057	0,091	0,101

BALLAND (2) a établi que cette acidité est en rapport direct avec les matières grasses de la farine et avec leur altération.

Si l'on traite par l'éther une farine de mouture récente, on en extrait une certaine quantité de matières grasses, semi-fluïdes, d'une couleur jaune plus ou moins foncée.

Ces matières grasses, reprises par l'alcool à 95°, donnent une huile fluïde, insoluble dans l'alcool. En distillant ce dernier au bain-marie on obtient comme résidu une masse blanche présentant des traces de cristallisation et entièrement constituée par des acides gras (3), dont le point de fusion est variable (20 à 33°).

(1) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 172.

(2) C. R. — *Acad. des Sciences*, 2 novembre 1903.

(3) On a remarqué, d'autre part, que l'alcool des lavages, après distillation, avait encore une réaction franchement acide et qu'il se produisait un louche persistant lorsqu'on l'étendait d'eau.

Si l'on traite de la même façon une farine de mouture ancienne, on constate que la proportion d'huile fluide qu'elle contient est beaucoup moins importante, ou même qu'elle a complètement disparu pour faire place à des acides gras seuls.

C'est la transformation de cette huile en acides gras qui constitue l'acidification des farines et ce sont ces acides qui s'opposent à l'hydratation du gluten.

Il est facile d'en faire la preuve. Voici les résultats obtenus par BALLAND dans l'extraction du gluten de cinq farines de mouture ancienne, avant et après épuisement des acides gras solubles dans l'éther (1).

	ACIDITÉ	GLUTEN HUMIDE	
		Farine avant lavage à l'éther	Farine après lavage à l'éther
Farine de blé tendre pour pain de munition, de mouture ancienne.	0,178	20 % de gluten granuleux.	32 %
Farine de blé dur pour pain de munition, de mouture ancienne.	0,370	Impossibilité d'extraire le gluten.	41 %
Farine de blé dur d'Algérie, moins ancienne que la précédente. . .	0,196	25 % de gluten sans cohésion	47 %
Farine de commerce ancienne, conservée en flacon bouché, 8 ans. . .	0,098	24,69 %	30,60 %
Farine <i>étuvée</i> du commerce, conservée en flacon bouché, 10 ans. . .	0,079	29,46 %	35,38 %

(1) Les acides gras des farines sont les uns solubles dans l'eau, l'alcool et l'éther, les autres insolubles dans l'eau et l'éther. (BALLAND, *Les Aliments*, p. 163.)

Comme contre-épreuve, une farine du commerce de mouture récente (acidité 0,29 %) a donné :

Glu'en humide	{	Avant lavage par l'éther :	23,05
		Après — — — :	21,49

La différence, de signe contraire cette fois, provient des matières grasses contenues dans le gluten retiré de la farine normale. Celui de la farine traitée par l'éther n'en contient pas.

Le rapport entre l'huile et les acides gras d'une farine permet de s'assurer si elle est de mouture récente ou ancienne. Ce rapport s'établit facilement en épuisant les matières grasses extraites par l'éther à l'aide de l'alcool à 95° qui dissout les acides gras et laisse l'huile insoluble (1).

ACTION DES FERMENTS. — Dans la recherche des causes qui provoquent l'altération des farines, il était naturel de penser au rôle possible des ferments que nous avons vus (p. 29) localisés dans la partie sous-corticale du grain.

Ces ferments agissent en effet. Ils agissent non seulement sur l'amidon, sur le gluten, qu'ils fluidifient, mais encore sur les acides gras qu'ils décomposent.

L'examen d'une farine pour pain de munition, conservée en flacon bouché depuis 1885, c'est-à-dire depuis environ treize ans, a donné à BALLAND le même taux d'acidité, 0,029, avant et après épuisement par l'éther. Cette quantité est celle que l'on trouve dans une farine de mouture récente. Mais ici l'ancienneté de la farine est mise en évidence par l'usure des matières grasses (0,20 % seulement) et par la fluidification du gluten.

(1) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 166.

Le gluten humide recueilli par malaxation atteint seulement 10,56, le gluten sec 3,90 avant traitement par l'éther. La farine lavée à l'éther donne les mêmes chiffres et, dans les deux cas, le gluten est aussi défectueux (1).

D'après BALLAND (2), l'action des diastases sur le gluten aurait en outre pour effet l'apparition de traces d'alcaloïdes, déjà sensibles avec des farines de plus d'un an.

Chimiquement, il est donc assez facile de reconnaître une farine altérée par ancienneté. Physiquement, certains caractères permettent aussi de la distinguer d'une farine fraîche. Celle-ci fait pelote dans la main, tandis que la farine « usée » fuit entre les doigts comme du plâtre. Dans la farine ancienne, lorsqu'elle renferme un excès d'humidité, on constate la présence de petites pelotes, parfois dures, qui sont autant de centres de fermentation. Examinées au microscope, ces pelotes contiennent des grains d'amidon gonflés par l'eau et dont l'enveloppe est à demi-déchirée. Enfin, l'odeur d'une farine vieillie est le plus souvent rance. Il faut noter qu'elle est généralement plus blanche qu'une farine fraîche, par suite de la transformation de l'huile jaune de la farine en acides gras blancs.

ÉTUVAGE, BLANCHIMENT DES FARINES PAR L'ÉLECTRICITÉ OU L'OZONE. — On a naturellement cherché à remédier aux causes de l'altération des farines. Pour cela il suffisait — pouvait-on penser — d'annihiler l'action des

(1) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 165.

(2) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 182.

diastases qui causent la transformation de l'amidon, du gluten et peut-être des matières grasses.

On essaya d'abord la *chaleur*.

Le pharmacien principal BOUSSON publia, en 1889, dans la *Revue de l'Intendance*, ses premières « Recherches sur l'application de l'étuvement à la conservation des farines ».

BALLAND prouva que les farines peuvent être étuvées à 100° sans perdre leurs qualités panifiantes (1), mais que, dans ce cas, l'existence des diastases est également sauvegardée par leur dessiccation préalable. Ces diastases reprennent leur activité sous l'influence de l'eau et de la chaleur.

Il est vrai que la conservation de telles farines est prolongée, surtout si elles sont tenues à l'abri de l'humidité, mais nous avons vu (p. 54) que, même en flacon bouché, elles ne sont pas préservées de l'altération. D'autre part, l'étuvage est non seulement une opération coûteuse, mais délicate. Une différence de quelques degrés, la durée plus ou moins longue de l'opération, ou même simplement le mode opératoire, suffisent à en changer les résultats.

On essaya l'*électricité*, ou plus exactement l'*ozone* produit électriquement. Par ce procédé, on arrive à paralyser complètement et définitivement l'action des diastases, mais, comme l'a montré BALLAND (2), on transforme en même temps, par oxydation, l'huile du blé en acides gras, dont nous avons vu précédemment

(1) BALLAND. — *Les Aliments*, p. 173.

(2) C. R. — *Acad. des Sciences*, 14 novembre 1904.

l'action empêchante sur l'hydratation du gluten. On blanchit la farine, mais en la vieillissant.

Les considérations qui précèdent nous ont permis déjà de comprendre quelques-unes des raisons qui ont amené la meunerie à n'extraire du grain de blé qu'une partie de ses éléments nutritifs.

L'examen détaillé de la panification et des fermentations qui l'accompagnent achèvera de mettre en lumière les difficultés rencontrées dans l'utilisation des parties périphériques du grain, sous forme de pain.

La panification.

La panification consiste à mélanger la farine avec de l'eau pour en faire une pâte, à faire « lever » cette pâte, c'est-à-dire à provoquer dans sa masse la production d'alvéoles, de cavités plus ou moins grandes, plus ou moins nombreuses, plus ou moins régulières, et, enfin, à cuire cette pâte au four pour obtenir le pain.

Nous ne décrivons pas ici par le menu les opérations de la panification. Nous n'envisagerons parmi elles que celles qui se rattachent à notre sujet, par leurs relations avec les différentes parties du grain de blé et par l'influence qu'elles ont sur la valeur alimentaire du produit obtenu.

Pour faire lever la pâte, on utilise soit des procédés biologiques (fermentations), soit des procédés chimiques (production de gaz par réaction ou décomposition), soit des procédés mécaniques (pétrissage sous pression d'acide carbonique).

Le plus ancien procédé connu est aussi celui qui a résisté à l'épreuve du temps et aux assauts des procé-

dés chimiques et mécaniques : c'est la *fermentation panaire*.

La *fermentation panaire* est essentiellement une fermentation alcoolique provoquée par addition à la pâte d'un *levain* ou d'une *levure*.

Le levain est une pâte fermentée (levain-chef) que l'on pétrit avec une certaine quantité d'eau et de farine pour obtenir le *levain de première*, puis que l'on « rafraîchit » avec une nouvelle quantité d'eau et de farine pour obtenir le *levain de seconde*, lequel donne, après une autre opération semblable, le *levain de tout point*.

On prélève une part de celui-ci qui donnera un nouveau levain-chef, et le reste est pétri avec de l'eau et avec la partie restante de la farine à mettre au four.

Chacune de ces opérations est suivie d'un temps de repos plus ou moins prolongé, dit temps d'*apprêt*.

Le levain est une culture où prédominent des saccharomyces (levures), d'activités inégales, et dont une ou deux variétés sont aptes à provoquer des fermentations alcooliques vives (1). Ces cellules-levures ont une existence *aérobie*, pendant laquelle elles se développent et se reproduisent, et une existence *anaérobie*, dès qu'elles sont privées d'oxygène : elles sécrètent alors une alcoolase qui dédouble le glucose en alcool et acide carbonique (2).

Mais le levain n'est pas une culture de levures pures.

(1) BOUTROUX. — *Le pain et la panification*, 1897, p. 117.

(2) Remarquons que la quantité de glucose exigée est très faible. Il se produit environ 2 gr. 5 d'acide carbonique par kilo de pain, ce qui nécessite environ 5 grammes de glucose pour 640 grammes de farine, soit moins de 1 %. Le glucose contenu normalement dans la farine serait suffisant pour permettre la réaction sans qu'il y ait transformation de l'amidon en glucose. (BOUTROUX, *loc. cit.*, p. 161.)

Il renferme toujours, en particulier, des bactéries donnant les fermentations lactique, butyrique, acétique. Cette dernière est peu notable. Elle ne se manifeste guère que dans les vieux levains mal soignés. Il n'en est pas de même des deux autres.

Il y a concurrence vitale entre les cellules-levures et les bactéries. Pour en bien comprendre les phases, il importe de considérer les conditions respectives d'existence des bacilles, qui sont les agents des fermentations lactique et butyrique.

Les bacilles lactiques commencent à se développer vers 20° ; entre 37° et 45° leur développement atteint sa plus forte intensité. Ils sont à la fois aérobies et anaérobies.

L'acide lactique qu'ils produisent arrête le développement du bacillus amylobacter (ferment butyrique) à la dose de 0,1 à 0,2 %, tandis qu'ils ne gênent la croissance des cellules-levures qu'à une dose de 2 %.

Quant à la fermentation butyrique, elle ne se développe bien qu'entre 35° et 40°. L'acide butyrique formé peut arrêter l'action des cellules-levures dès qu'il atteint la dose minime de 0,05 %.

Il en résulte que la fermentation alcoolique est favorisée par un début de fermentation lactique. Si la dose d'acide lactique produite reste inférieure à 1 %, l'énergie de la levure est plutôt exaltée que gênée (1). Cette dose, nous l'avons vu, s'oppose à la fermentation butyrique. Mais il ne faut pas qu'elle atteigne 2 %, ni que la chaleur dégagée par la fermentation élève la température au-dessus de 35°, sans quoi ce serait ou la

(1) SÉRAND. — *Le pain*, 1911, p. 39.

fermentation lactique ou la fermentation butyrique qui se développeraient au détriment des cellules-levures.

Ainsi s'explique la nécessité de rafraîchir périodiquement le levain, en lui ajoutant une nouvelle quantité d'eau et de farine, et de ramener les cellules-levures et les bactéries à l'existence aérobie, par l'incorporation d'air dans la pâte (pétrissage). C'est pendant cette existence aérobie que les cellules-levures prennent la prédominance.

Le temps de repos (apprêt) qui succède au pétrissage les ramène à l'existence anaérobie, pendant laquelle elles produisent la fermentation alcoolique. Si l'apprêt se prolongeait trop, cette fermentation se ralentirait pour faire place à une fermentation acide.

Il appartient donc au boulanger de saisir le moment où sa pâte a atteint le développement nécessaire et suffisant pour la mise au four.

A ce moment, la pâte, divisée en pâtons de forme et de poids voulus, et ayant subi un dernier apprêt, renferme une infinité de petites bulles d'acide carbonique.

Ces petites bulles, sous l'influence de la chaleur, vont amorcer la formation des alvéoles qui se développent, pendant la cuisson, dans le réseau élastique du gluten hydraté, et qui donnent au pain sa consistance spongieuse.

CUISSON. — La pâte, mise au four à une température qui dépasse toujours 225° et qui ordinairement est comprise entre 250 et 300° , est gonflée par dilatation du gaz carbonique, et ensuite par la vapeur d'eau.

Sa surface, qui est d'abord le siège d'une évaporation

intense, ne tarde pas à se dessécher, puis à jaunir et à brunir, formant une *croûte* ferme.

Lorsque la cuisson s'achève, la *croûte* atteint une température d'environ 140 à 150°, alors que l'intérieur du pain, la *mie*, ne dépasse pas 97 à 102°.

Si l'on compare la *mie* et la *croûte*, on constate d'abord que leur composition en éléments simples, à l'état sec, est la même ; ensuite, que la *mie* contient autant d'eau que la pâte primitive. Elle n'en a pas perdu à la cuisson. Toute la perte d'eau a été supportée par la *croûte*.

Le gluten de la *mie*, après avoir été étiré pendant la période de dilatation, s'est trouvé coagulé par la chaleur et a emprisonné la vapeur d'eau intérieure.

Cette eau, ne s'évaporant pas, permet des modifications moléculaires importantes.

Au début de la cuisson, la fermentation alcoolique se continue au sein du pâton, la production du gaz carbonique s'accélère. Puis, la température continuant à s'élever, devient impropre aux fermentations produites par les levures et les bactéries. Mais, vers 50°, les diastases de la farine acquièrent leur maximum d'activité, notamment l'amylase, qui transforme l'amidon en dextrine et maltose et poursuit son action jusqu'au dessus de 70°. Enfin, lorsque la température atteint près de 100°, l'amidon est transformé en amylo-dextrine (amidon soluble), en dehors de toute action diastasique (LINTNER et DULL) (1).

(1) BOUTROUX. — *Loc. cit.*, p. 260.

PAIN BLANC, PAIN BIS, PAIN COMPLET. — Il nous reste à voir comment se comportent, pendant la panification, les différentes farines.

Nous avons rappelé, page 50, d'après BALLAND, « que les meilleures farines, au point de vue de la panification, sont celles dont le gluten retient la plus forte quantité d'eau ».

Nous avons vu aussi que le taux d'hydratation du gluten diminue dans les cas suivants :

- 1° Quand l'acidité augmente ;
- 2° Lorsque la farine vieillit ;
- 3° Lorsque la quantité de débris d'assise protéique et de germes contenue dans la farine augmente.

Cela revient à dire, déjà, que la panification donne un résultat d'autant moins bon que la farine est moins pure, puisque les farines les moins pures sont aussi les plus acides et sont celles qui vieillissent le plus rapidement.

Les farines donnent des pains dont la mie est d'autant plus colorée qu'elles contiennent plus de sons. On a ainsi, soit du pain blanc, avec les farines blanches, soit du pain bis, avec les farines bises, contenant une quantité plus ou moins grande de débris d'enveloppes et de germes. Le plus coloré des pains bis est le pain complet, fait de blé total moulu.

Entre le pain blanc et le pain complet (1), il y a des différences très grandes, non seulement de couleur, d'aspect, de consistance, mais aussi de constitution chi-

(1) Tout ce que nous dirons du pain complet, par la suite, s'applique aux pains bis, mais bien entendu dans la mesure où ceux-ci renferment plus ou moins de débris de l'embryon, de l'enveloppe et des parties périphériques de l'albumen.

mique. Il en résulte des différences non moins importantes dans leur valeur alimentaire, soit au point de vue nutritif, soit au point de vue de la digestibilité.

Si l'on compare une tranche de pain blanc à une tranche de pain complet, on aperçoit immédiatement que la mie de ce dernier, d'une teinte grise tirant sur le brun, est plus compacte, moins élastique, plus grasse, parfois même poisseuse, toujours plus molle et plus aqueuse.

En déterminant la quantité d'eau absorbée par la farine pendant le pétrissage, on constate en effet que pour donner une pâte de même consistance au moment de l'enfournement, il faut fournir à la farine d'autant plus d'eau qu'elle est plus bise (1).

A première vue, ce résultat semble contraire au principe exposé plus haut, et suivant lequel le taux d'hydratation du gluten est maximum avec les farines les plus blanches. Mais il faut considérer que les farines bises sont un peu plus riches en gluten, et tenir compte également de l'eau absorbée par leurs autres éléments.

Comme nous l'avons vu, les débris d'enveloppe et d'embryon qu'elles contiennent apportent avec eux des diastases hydrolysantes; ces diastases, diminuant l'élasticité du gluten, nuisent au développement de la pâte et favorisent son hydratation.

La pâte, restant plus compacte, doit également conserver une quantité d'eau plus élevée. C'est ce que l'on constate. Les farines qui ont absorbé le plus d'eau au

(1) Cette constatation n'est pas nouvelle. En 1783, l'*Acad. des Sciences* désigna une Commission de trois membres : LE ROY, TILLET et DESMAREST, pour étudier le rendement du blé en farine et le rendement de la farine en pain. Cette Commission trouva que la farine blanche absorbe au pétrissage 60 % d'eau; la farine bis-blanc, 63 % et la farine bise 67 %. (BOUTROUX, *loc. cit.*, p. 249.)

pétrissage sont aussi celles qui en perdent le moins à la cuisson (1).

Quant à la teinte bise ou brune de leur pâte, elle ne tient pas seulement à la couleur propre des débris de son contenus dans la farine. G BERTRAND et MUTTERMILCH ont montré que le brunissement de l'extrait de son résulte de l'action successive de deux diastases : la première (gluténase), met en liberté une substance ayant les caractères essentiels de la tyrosine, la seconde (tyrosinase), fixe l'oxygène sur ce produit avec formation d'une substance brune (2).

Mais ce n'est pas seulement la couleur, l'aspect et la consistance qui distinguent le pain blanc du pain complet. Si l'on essaye de délayer dans l'eau une tranche de chacun de ces pains, on voit le pain complet s'émietter, se désagréger, tandis que le pain blanc garde plus de cohésion, gonfle et double de volume. C'est pour ce motif que le pain complet est moins propre à la confection de la soupe (3). Nous verrons plus loin, page 70, que cet inconvénient a pour motif son défaut de pouvoir absorbant.

Une expérience citée par CHEVREUL (4) en révèle une seconde cause dans la solubilisation partielle des éléments du pain complet.

(1) BOUTROUX. — *Loc. cit.*, p. 250

(2) Suivant la réaction: $C_9H_{11}NO_3 + O_2 = C_8H_8O_4 + N H_3 + CO_2$,
Tyrosine. Acide
homogentisique.

(G. ANDRÉ, *Chimie agricole*, 1914, p. 245 et 247.)

(3) C'est pourquoi aussi l'Administration militaire achète à des fournisseurs civils du *pain de soupe*, le pain de munition étant fait de farines dont le taux d'extraction est relativement élevé.

(4) BOUTROUX. — *Loc. cit.*, p. 275.

130 grammes de pain de son et 130 grammes de pain blanc (supposés secs) sont broyés avec de l'eau pendant trois heures, à une température de 40°. Après séparation et dessiccation à 100° des matières solubles et insolubles, voici les nombres trouvés pour chaque pain :

	Matières solubles	Matières insolubles
Pain de son.....	59,35	69,75
Pain blanc.....	9,03	120,25

Il nous reste à comparer le pain blanc et le pain complet au point de vue de leur valeur alimentaire, c'est-à-dire au double point de vue de leur valeur nutritive et de leur digestibilité.

CHAPITRE DEUXIÈME

TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES DIFFÉRENTES PARTIES DU GRAIN DE BLÉ

Premier Groupe : Recherches sur la digestibilité et le coefficient d'utilisation (1).

PARALLÈLE ENTRE LA DIGESTIBILITÉ DU PAIN BLANC D'UNE
PART, ET DU PAIN, SOIT BIS, SOIT COMPLET, D'AUTRE PART.

Nous avons vu (p. 19) que le grain de blé, au point de
vue alimentaire, pouvait être considéré comme composé
de trois parties bien différentes :

L'enveloppe, représentant environ.	15 %	du grain
L'embryon et l'assise protéique ..	10 %	—
L'albumen	75 %	—

Si l'enveloppe semble peu importante au point de vue
alimentaire, il n'en est pas de même de l'embryon et de
l'assise protéique.

Cependant, nous avons remarqué que depuis les
temps les plus reculés l'homme s'est efforcé d'extraire
du grain l'albumen seul, et qu'il y est parvenu, autant

(1) C'est-à-dire : recherches dans lesquelles le problème d'hygiène
alimentaire n'a été examiné qu'au point de vue des *quantités* de ma-
tières assimilées et de leur *valeur isodynamique*.

que cela était possible industriellement, en adoptant et perfectionnant la mouture par cylindres.

Nous avons expliqué que ce but avait été poursuivi et atteint, non pour compliquer la mouture à plaisir, ni pour laisser perdre, 10 % de matières nutritives dans les sons, mais pour résoudre des difficultés réelles : difficultés d'extraction (1), difficultés de conservation, difficultés de panification. Nous devons ajouter : difficultés de digestion ; c'est contre cet écueil que se sont brisées toutes les campagnes en faveur du pain complet (2).

Car c'est un fait : le pain complet est plus lourd à digérer que le pain blanc ; il est laxatif et provoque souvent de l'irritation intestinale. Ses apôtres les plus convaincus ont dû eux-mêmes le reconnaître : ils l'ont expliqué en invoquant la « dégénérescence » de nos estomacs et en accusant les cylindres et les meuniers d'aujourd'hui de produire une farine défectueuse.

Voyons donc ce qu'il faut penser du pain complet d'autrefois, fabriqué à une époque où les cylindres étaient encore inconnus.

En 1782 (3), Parmentier écrivait : « Je ne prétends pas être le premier qui se soit récrié contre la présence du son dans le pain ; plusieurs médecins ont

(1) Nous rappelons qu'à taux d'extraction égal, on perd une plus grande quantité de farine dans les sons avec les meules qu'avec les cylindres.

(2) Campagne du *Petit Journal* (1895). — Campagne du *Standard Bread* (1911-12).

(3) Nous pourrions remonter plus haut. Hippocrate, qui n'était pas un médiocre observateur des choses naturelles, avait déjà écrit : « Le pain fait avec de la farine de froment est plus propre à rétablir les forces des convalescents que celui où il entre du son, que le pain bis dont la farine n'a pas été tamisée. » (Dr P. CARTON, *Notre aliment fondamental : Le pain*, 1914, p. 36.)

« déjà prouvé que le son ne se digérait point, qu'il *fati-*
« *guait extrêmement l'estomac* et qu'on le rendait tel
« qu'on le prenait (1). »

En 1847, après la conquête de l'Algérie, Tripier, pharmacien en chef du corps expéditionnaire, écrivait, dans un rapport adressé à l'Intendant de l'armée : « Ecartez
« du pain de munition le plus de son possible, éliminez
« tout ce surcroît d'eau qu'il a fallu jusqu'ici y enfer-
« mer pour satisfaire aux exigences du règlement ; il
« deviendra plus parfait, *plus digestif*, d'une conser-
« vation mieux assurée et, quelle que soit sa diminu-
« tion de poids, il aura conservé toute sa puissance ali-
« bile ; il n'aura perdu que des défauts (2). »

D'où vient que le pain complet est lourd à l'estomac ? La quantité supplémentaire d'eau qu'il absorbe au pétrissage et qu'il retient à la cuisson ne suffit pas à l'expliquer. Il faut plutôt en rechercher la cause dans la nature grasse et compacte de sa mie, qui la rend moins perméable aux sucs digestifs.

FLEURENT a fait l'expérience suivante (3) : deux tranches de pain d'à peu près même volume, l'une de pain blanc, l'autre de pain bis, sont immergées dans l'eau et pesées de cinq en cinq minutes. On trouve qu'elles absorbent les quantités d'eau suivantes :

1) PARMENTIER. — *Meunerie et Boulangerie*, 1782.

(2) TRIPIER. — *Rapport sur les perfectionnements à apporter au pain du soldat d'Afrique, à la suite d'expériences faites à la Manutention d'Alger en 1846-47.*

(3) FLEURENT. — *Loc. cit.*, p. 120.

		Augmentation pour cent	
		Pain blanc	Pain bis
Après	5 minutes....	200	167
—	10 —	321	211
—	15 —	338	215
—	20 —	345	227

Cette supériorité du pouvoir absorbant du pain blanc, s'exerçant sur les sucs digestifs, contribue à expliquer le coefficient d'assimilation supérieur qu'il a montré, dans les expériences comparatives faites avec divers pains et que nous exposerons plus loin.

Il faut y ajouter le pouvoir laxatif du pain complet. Ce pouvoir laxatif tient-il à une action mécanique sur l'intestin des fragments d'enveloppe qui traversent sans modification tout l'appareil digestif ? Tient-il à l'action des graisses de l'embryon et de l'assise protéique, ou à la proportion relativement importante de magnésie que renferment ces éléments du grain ? Tient-il encore à la difficulté pour les sucs de l'intestin d'attaquer un aliment compact et insuffisamment préparé par les sucs salivaire et gastrique ?

Probablement à toutes ces causes à la fois. Mais la conséquence indéniable, c'est que le séjour du pain complet dans l'intestin en est écourté, et qu'il en résulte une perte importante d'éléments nutritifs dans les fèces.

Quelle est l'importance de cette perte ?

C'est ce qu'ont déterminé les expériences faites, les unes en Allemagne, par G. MEYER (1), à l'instigation de

(1) MEYER, — *Zeitschrift für Biologie*, 1871.

VOIT, et les autres en Amérique, par H. SNYDER (1), Woods et MERRILL (2), pour la Commission américaine de l'alimentation présidée par le professeur ATWATER.

G. MEYER a pris comme sujet d'expériences un jeune homme robuste, possédant des organes digestifs en parfait état. Cet homme recevait, outre le pain, 50 grammes de beurre et deux litres de bière par jour. L'alimentation avec chaque sorte de pain durait quatre jours. Elle était précédée d'un jeûne durant une demi-journée et une nuit, succédant à un repas exclusivement composé de viande ; elle était suivie d'un autre jeûne durant de 4 heures du soir au lendemain matin. On pouvait ainsi reconnaître nettement les matières fécales provenant du pain.

Dans chaque expérience, le sujet ne recevait que la mie du pain essayé. Chaque jour on déterminait exactement la quantité de pain consommée et la quantité de matières fécales rejetées.

Les expériences ont porté sur quatre sortes de pains. Pour faire ressortir plus nettement les résultats obtenus, nous classons ces pains *par ordre croissant de compacité* :

I. Pain blanc de froment (Semmel) ;

II. Pain de seigle de Munich (fait avec de la farine de seigle et des farines de froment inférieures, toutes exemptes de son) ;

III. Pain de Horsford-Liebig (pain de seigle levé au

(1) SNYDER. — *Studies on the digestibility and nutritive value of bread*, 1900-1902 (Department of Agriculture, Washington, 1903.)

(2) *Studies on the digestibility and nutritive value of bread at the Maine agricultural station in 1889-1903*, (*Ibid.* 1904.)

moyen d'un mélange de bicarbonate de soude, superphosphate de chaux et chlorure de calcium) ;

IV. Pain de farine entière (pain noir dit Pumpernickel).

Les quantités de pain que le sujet put consommer par jour ont été différentes pour les diverses sortes de pains (1), comme l'indiquent les chiffres suivants, exprimés en grammes :

I. Pain blanc.....	736,2
II. Pain de Munich.....	816,7
III. Pain Horsford-Liebig.....	800
IV. Pain Pumpernickel.....	756

Représentées en matières sèches, voici quelles furent les quantités ingérées, rejetées et résorbées :

Pains employés	Matières sèches		
	Ingérées	Rejetées	Résorbées
I.....	439,5	25,0	414,5
II.....	438,1	44,2	393,9
III.....	436,8	50,5	386,3
IV.....	422,7	81,8	340,9

Dans ces matières sèches, l'azote seul était représenté par les chiffres suivants :

(1) Notons que dans l'alimentation avec les trois premières sortes de pains, le sujet n'était jamais rassasié; il éprouvait une sensation de faim croissante, qui devenait presque intolérable le dernier jour; seul, le pain PUMPERNICKEL satisfaisait l'appétit. C'était cependant celui qui nourrissait le moins. Ainsi que le fait remarquer BOUTROUX, ce fait, paradoxal en apparence, peut s'expliquer en ce que « la sensation de faim est liée à l'état de vacuité de l'estomac, en même temps qu'au besoin réel d'aliment ». Les pains les plus légers séjournaient moins longtemps dans l'estomac, parce qu'ils y étaient plus facilement digérés. (BOUTROUX, *Le pain et la panification*, p. 346.)

AZOTE			
	Ingéré	Rejeté	Résorbé
.....	8,83	1,76	7,07
II.....	10,47	2,33	8,14
III.....	8,66	2,81	5,85
IV.....	9,38	3,97	5,41

et les cendres par les chiffres suivants :

CENDRES			
	Ingérées	Rejetées	Résorbées
I.....	10,02	3,03	6,99
II.....	18,05	5,50	12,55
III.....	24,68	9,41	15,27
IV.....	8,46	7,89	0,27

Si, pour apprécier le coefficient d'assimilation de chaque pain, on compare maintenant les quantités rejetées aux quantités ingérées, on trouve :

QUANTITÉS REJETÉES POUR 100 PARTIES INGÉRÉES

	Matières sèches	Azote	Cendres
I.....	5,6	19,9	30,2
II.....	10,1	22,2	30,5
III.....	11,5	32,4	38,1
IV.....	19,3	42,3	96,6

Ce dernier tableau met en évidence que la digestibilité du pain marche de pair avec sa légèreté, et que les différences de digestibilité de différents pains peuvent effacer complètement leurs différences de richesse nutritive.

Examinons maintenant les expériences de Snyder: Elles ont eu pour base trois farines extraites d'un même lot de blé tendre (blé Scotch Fife) :

1° Une farine blanche ;

2° Une farine dite *de blé entier*, assez mal dénommée, car elle est obtenue en remoulant les sons de façon à en détacher autant que possible l'assise protéique, les produits de cette nouvelle mouture étant ajoutés à ceux provenant de l'albumen ; c'est en somme une farine complète, à laquelle on a soustrait la plus grande partie possible du péricarpe ;

3° Une farine dite *de Graham*, obtenue par la mouture du blé entier sans élimination d'aucune partie de l'enveloppe.

Des pains ont été fabriqués, dans les mêmes conditions, avec ces trois types de farines et ils ont été soumis, d'une part, à l'étude de la digestion artificielle, d'autre part, à l'étude de la digestion humaine (1).

En matière sèche et en azote, les pains considérés avaient la composition suivante :

	Matière sèche pour 100	Azote pour 100
Pain blanc.....	58,90	2,22
Pain de blé entier.....	58,34	2,32
Pain de Graham.....	56,68	2,37

Pour chaque digestion artificielle, on a pesé 25 grammes de mie de pain et on les a maintenus à l'étuve à 38° pendant quatre heures, avec 225 cc. d'une solution acide de pepsine. On a séparé le résidu insoluble ; on l'a lavé, séché et pesé, puis on y a dosé l'azote résiduel. On a ainsi trouvé :

(1) FLEURENT. — *Le pain de froment*, p. 127.

	Azote		
	Dans le pain	Dans le résidu	Digéré
Pain blanc.....	0,33	0 06	8 2°/o
Pain de blé entier.....	0,34	0,08	76 °/o
Pain de Graham.....	0,34	0,14	58 °/o

Les résultats donnés par ce tableau se passent de commentaires. Voyons maintenant comment ces trois pains se comportent dans l'organisme humain.

Dans ce cas, les expériences ont été faites, soit sur des étudiants du Collège d'agriculture, soit sur des ouvriers, tous choisis dans les meilleures conditions de santé. Ils furent nourris au pain et au lait seulement, dans les mêmes conditions pour chaque sorte de pain successivement, et chacun pendant une période de deux jours seulement.

Chaque sujet fut pesé avec soin et resta soumis, pendant les expériences, à une surveillance aussi soigneuse que possible, tout en conservant sa méthode régulière de travail. Les aliments accordés à chacun étaient pesés avec exactitude.

Douze expériences ont été ainsi faites avec quatre sujets différents. Dans chacune on a tenu compte, bien entendu, des quantités et de la composition des matières éliminées. La différence donne ainsi la quantité des aliments réellement assimilés.

Voici la moyenne des résultats obtenus (1) :

(1) FLEURENT. — *Le pain de froment*, p. 130-131.

QUANTITÉ D'ALIMENTS ASSIMILÉS POUR 100 DE CHACUN
DES PAINS

	Matières azotées	Matières grasses	Hydrates de carbone
Pain blanc.....	85,3	56,4	97,5
Pain de blé entier.....	80,4	55,8	94,1
Pain de Graham.	77,6	58	88,4

De nouvelles expériences, publiées en 1903 par le même auteur, aboutissent aux mêmes conclusions.

Enfin, WOODS et MERRILL, directeur et chimiste de la « Maine Agricultural Experiment Station », chargés par le professeur ATWATER de recherches analogues, confirmèrent absolument les résultats obtenus par SNYDER (1).

Il semble donc bien établi que le pain blanc est plus digestible et plus nourrissant, à poids égal, que le pain bis, celui-ci étant lui-même supérieur, à ces points de vue, au pain complet.

Mais LARICQUE a montré (2) que si, au lieu de rechercher le coefficient d'utilisation du pain, on calcule celui de l'utilisation du grain avec chacun des pains considérés, l'échelle des résultats se trouve inversée.

Par exemple, un pain blanc provenant d'une farine à 72,6 % de taux d'extraction a donné à SNYDER un coefficient d'utilisation de 90,1 %, alors qu'un pain complet donnait seulement 80,7 %. Or, en considérant que dans le premier cas 100 kilos de blé ne fournissent que 72 k. 6 de farine, on détermine que les coefficients d'utilisation du grain se ramènent aux chiffres suivants :

(1) FLEURENT. — *Le pain de froment*, p. 136.

(2) C. R. Acad. des Sciences, 24 septembre 1917, p. 413.

$$\text{Pain blanc de farine à } 72,6 \% : 90,1 \times \frac{72,6}{100} = 65,41$$

$$\text{Pain complet} \quad \text{à } 100 \% : 80,7 \times \frac{100}{100} = 80,7$$

Cette considération économique méritait de tout primer à l'époque où elle fut présentée, pendant la guerre mondiale. Elle n'a pas perdu sa valeur.

Peu de temps après LAPICQUE, G. BERTRAND (1) publiait une nouvelle étude critique des chiffres obtenus par SNYDER, WOODS et MERRILL, conçue dans le même esprit. Il avait le soin de choisir, parmi les expériences de ces auteurs, celles où une même sorte de grain avait fourni des farines à 72, à 85 et à 100 % de taux d'extraction.

Faisant alors, sur les chiffres primitifs, le calcul indiqué plus haut, il obtenait, sur sept séries d'expériences, les moyennes suivantes :

	Matières protéiques	Calories
Pain de farine à 72 %.....	64,33	66,27
Pain de farine à 85 %.....	69,28	74,19
Pain de farine à 100 %.....	76,84	82,59

Constatant ainsi que l'emploi de la farine à 85 % (à ce moment taux d'extraction légal) présentait sur celui de la farine à 72 % un bénéfice, en calories, d'environ 8 %, G. BERTRAND présentait toutefois les observations suivantes :

« Si tout ce qui disparaît dans le tube digestif était
« appliqué par l'organisme à sa nutrition, il y aurait
« un intérêt évident pour l'homme à tirer du grain 85 %

(1) *C. R. Acad. des Sciences*, 1^{er} octobre 1917, p. 438.

« de farine au lieu de 72. Mais avec le pain à 85, la
« partie non digérée du bol alimentaire est, d'après les
« chiffres relevés dans les expériences américaines, de
« trois à quatre fois plus grande que celle laissée par
« le pain à 72. Le travail perdu par la mastication, le
« brassage et le transport intestinal de cet excès de
« substance inerte, vient naturellement se déduire des
« 8 % calculés ci-dessus. On peut alors se demander
« si le bénéfice restant suffit à compenser, d'une part,
« les inconvénients multiples que présente le pain à
« 85 % et, d'autre part, la diminution de substance ali-
« mentaire qu'entraîne pour les animaux de la ferme un
« taux d'extraction si élevé. La question reste indécise
« au point de vue théorique. »

Pour tenter de lever cette indécision, LAPICQUE a effectué, avec divers collaborateurs (1), une série d'expériences systématiques, les unes sur le pain blanc, le pain de farine à 85, le pain de blé entier (4), les autres sur la digestibilité du son par le chien (2), par le lapin et par les deux successivement (3).

Voyons d'abord les expériences sur le pain. Elles ont fait l'objet d'une communication à l'Académie des Sciences, le 18 février 1918 (4), et en voici les résultats et les conclusions :

1° *Expériences sur le chien.* — Un chien de 8 k. 600 est mis au pain de blé entier (170 gr. par jour avec

(1) R. LEGENDRE, J. CHAUSSIN, A. LIACRE, L. DEVILLERS.

(2) *C. R. Soc. de Biologie*, 13 avril 1918, p. 322.

(3) J. CHAUSSIN. — *C. R. Soc. de Biologie*, 22 mars 1919, p. 270.

(4) L. LAPICQUE et J. CHAUSSIN. — *C. R. Acad. des Sciences*, 18 février 1918.

10 gr. de caséine et 10 gr. de graisse). En 16 jours son poids descend à 8 k. 200, puis reste stationnaire pendant 18 jours. A ce moment, on substitue au pain de blé entier un biscuit de pure farine blanche et on maintient l'équilibre corporel, pendant une nouvelle période de 18 jours, avec 150 gr. par jour de ce biscuit.

« Les quantités de matières sèches qui, dans les deux cas, se sont montrées équivalentes pour l'entretien sont :

Blé entier	142 grammes
Farine blanche	128 —

« Si l'on fait égale à 100 la valeur alimentaire de la farine blanche, celle du blé est alors de 90,3. »

D'autre part, le résidu indigestible donné par le blé entier est de 11,6 %.

« La valeur alimentaire du blé total », conclut LAPICQUE, « est donc un peu plus grande que celle de son poids de farine blanche diminué du poids des résidus indigestibles. Bien entendu, le soi-disant travail perdu par la mastication, le brassage et le transport intestinal de cet excès de substance inerte ne peut donner lieu ici à aucune déduction, la mesure étant faite sur la valeur au point de vue de l'entretien de l'organisme. »

2° *Expériences sur l'homme.* — Un homme pesant 70 kilos prend chaque jour 500 grammes du pain à étudier, avec une quantité déterminée de lait, semoule, riz, beurre, sucre, café et compote d'abricots.

« Résultats : En régime légèrement surabondant, soit le pain bis (à 85 %), soit le pain blanc, donnent lieu à une augmentation du poids du corps et à une fixa-

« tion d'azote. Mais, au bout de 15 jours, le pain bis,
« mal toléré, donne lieu à un accroissement de l'azote
« fécal, et l'organisme n'arrive plus que juste à l'équi-
« libre... Le remplacement d'un fruit cuit par un autre,
« sans doute un peu moins mûr et un peu plus acide,
« donne lieu aux mêmes perturbations avec les mêmes
« conséquences. Entre les périodes VI (période au pain
« blanc) et VII (période au pain bis à la chaux) (1), où
« il semble bien que l'entretien strict a été réalisé, il
« n'y a aucune différence notable ; le pain à la chaux
« ne donne lieu à aucun phénomène d'intolérance et
« couvre tout aussi bien (en négligeant même un tout
« petit bénéfice) les besoins de l'organisme. La farine
« qui a servi à faire ce pain contenait un peu plus de
« débris d'enveloppes indigestibles que la farine type à
« 85 du décret du 3 mai 1917.

« *Conclusions* : La différence de valeur entre les deux
« pains étudiés est trop faible pour se révéler dans les
« conditions de l'expérience. *A fortiori*, dans la vie
« courante, avec régime libre, où l'imprécision est au-
« trement grande, il sera impossible de saisir cette dif-
« férence.

« A condition d'éliminer les perturbations possibles
« par l'acidité du pain et d'éviter ou de compenser les
« différences d'hydratation, le pain à 85 est pratique-
« ment de la même valeur nutritive que le pain blanc. »

(1) Le pain bis à la chaux, dit *pain français*, est un pain fait de farine à 85 % et additionné d'eau de chaux pendant le pétrissage, suivant le procédé étudié et proposé par MM. LAPICQUE et LEGENDRE, pour en corriger les défauts. (LAPICQUE et LEGENDRE : « *Amélioration du pain de guerre par neutralisation des ferments du son*. » *C. R. Acad. des Sciences*, 27 août 1917.)

Les auteurs n'indiquent pas quelle quantité de son ils ont retirée de la farine à 85 par tamisage pour en faire le pain blanc. En supposant que cette farine soit au taux d'extraction de 75 %, ces expériences semblent prouver que le son incorporé à la farine à 75 % pour en faire de la farine à 85 % a une valeur alimentaire voisine de celle de la farine à 75 %.

Il était donc nécessaire de reprendre les travaux de POGGIALE, RATHAY, Aimé GIRARD, sur la valeur alimentaire du son.

POGGIALE (1), faisant absorber à deux chiens un poids déterminé de son, avait constaté que celui-ci perdait seulement 23 % de son poids en traversant le tube digestif. Le même son, soumis à l'action digestive successive des deux chiens et d'une poule, contenait encore, après cette triple digestion, 3,52 % de matières azotées.

RATHAY (1), professeur à l'Institut royal de Klosterneuburg, expérimentant sur lui-même le pain de Graham, avait constaté que les enveloppes rejetées, examinées au microscope, restaient absolument identiques, quant à leur structure anatomique, à ce qu'elles étaient avant leur absorption.

Enfin, Aimé GIRARD confirmait les résultats de ces expériences, après avoir ingéré lui-même une quantité déterminée de son, dans lequel il retrouvait, après digestion, les cellules à aleurone intactes.

Mais il convient ici de faire une remarque importante : Aimé GIRARD évitait de soumettre les enveloppes à la mastication, en raison sans doute de la faible quantité d'enveloppes ingérées (5 gr. 673 à l'état sec), et pour

(1) Voir *Index bibliographique*.

être certain qu'elle passerait tout entière par le tube digestif.

Or, nous avons vu que l'assise protéique est limitée par des parois cellulosesques épaisses et que son adhérence au péricarpe est très forte.

Pour en tirer parti, il est nécessaire qu'un broyage plus énergique, à défaut de la mastication, ouvre les cellules à aleurone. C'est ce qu'a montré l'expérience. En 1907, JACQUEMAIRE, recherchant dans l'assise protéique ses composés phosphorés, constatait « qu'elle
« s'assimile aussi aisément que les autres parties du
« grain, en subissant les mêmes opérations de pulvérisation, pétrissage, cuisson, mastication. L'important,
« c'est que les cellules qui la composent soient bien
« ouvertes par le broyage, pour donner issue aux matières azotées qu'elles contiennent (1). »

En 1918, LAPICQUE et LIACRE (2), examinant les nouvelles farines qui leur étaient livrées pour leurs essais, faisaient les constatations suivantes :

« En août et septembre 1917, les fragments d'enveloppe contenus dans ces farines étaient en général
« assez gros pour être retenus non seulement sur un
« tamis n° 100, mais même sur un tamis n° 70. » Dans les farines nouvelles, « le son, même présent en aussi
« grande proportion que précédemment, passait pour
« la plus grande part à travers le tamis n° 100, c'est-à-dire que le son avait été remoulu ».

Dans le pain fait avec ces farines, « sur des coupes

(1) L. JACQUEMAIRE. — *Le problème du pain*, 1907, p. 9.

(2) LAPICQUE et LIACRE. — *C. R. Soc. de Biologie*, 9 mars 1918, p. 219.

« traitées par des colorations électives..., presque toutes
« les cellules à aleurone apparaissent ouvertes ; les
« cloisons radiales, encore adhérentes au tégument sé-
« minal qui leur sert de support commun, sont inter-
« rompues à une distance quelconque, et la paroi qui
« faisait face à ce tégument a disparu ; leur contenu
« s'est répandu sous forme d'une traînée oblique dans
« la pâte avoisinante ».

« Le pain ayant été ingéré par une souris, un chien,
« ou un homme, les particules d'enveloppes récoltées
« dans les fèces montrent presque toutes des restes
« fragmentés des parois cellulaires, sans traces d'aleu-
« rone, ni de protoplasma ; les cellules intactes et plei-
« nes sont l'exception ».

« C'est-à-dire que les cellules à aleurone, en général,
« se sont ouvertes pendant la panification, et leur con-
« tenu a été digéré. En observant avec un fort grossis-
« sement, et au besoin en lumière oblique, les particu-
« les de son avant la panification, nous y avons re-
« connu l'existence de fissures en quelque point des
« parois à peu près sur toutes les cellules ; ce sont ces
« parois ainsi fissurées qui cèdent à l'arrachement lors
« du pétrissage et exposent le contenu des cellules à
« l'action des sucs digestifs. »

« *Conclusion* : Dans notre pain actuel, sans autre
« préparation systématique, la plupart des cellules à
« aleurone sont digérées et contribuent ainsi à la va-
« leur alimentaire de ce pain.

« Or, elles constituent quelque chose comme un tiers
« de la masse qui était jusqu'ici considérée comme non
« alimentaire pour nous, soit, pour une farine à 85

« contenant de 4 à 6 % d'enveloppes, 1 à 2 centièmes
« de la valeur alimentaire totale. »

Pour compléter cette étude, il s'agissait de mettre en évidence, d'une façon « plus directement démonstrative », la valeur alimentaire du son, et pour cela « mettre un sujet à un régime d'entretien strict, dont la plus grande partie sera de la farine contenant le produit en contestation, puis supprimer ce produit ; si celui-ci est réellement inutile, l'entretien sera encore réalisé ».

A cet effet, LAPICQUE et CHAUSSIN (1) firent sur le chien deux séries d'expériences.

« *Première série*, faite en novembre et décembre
« 1917. Farine du commerce, dite à 85, contenant en
« fait un peu plus d'enveloppe que le type réglementaire. La mouture était grossière ; le tamis n° 50 en
« retenait plus de 20 centièmes ; ce *refus* du tamis a
« été *réduit* par passage entre deux cylindres lisses.
« tamisé de nouveau ; ce qui est resté sur le tamis cette
« fois a été considéré comme *son*, au sens large du
« mot ; plus proprement c'étaient des *recoupettes*, et
« c'est de ce nom que nous les désignerons.

« I. — Du 6 au 19 novembre, les deux chiens, pesant
« respectivement : α , 7.610 grammes, β , 5.920 grammes, reçoivent quotidiennement en une pâtée, chacun 10 grammes de caséine et 10 grammes de graisse
« de bœuf fondue ; plus, α , 160 grammes, et β ,
« 125 grammes de la farine complète (quantités déterminées après quelques tâtonnements). En ces 14
« jours, le poids du chien α passe à 7.500 ; perte :
« 110 grammes, soit par jour : 8 grammes ; le poids

(1) C. R. Soc. de Biologie, 13 avril 1918, p. 322.

« de β se retrouve à 5.930 grammes, équilibre exact à
« 10 grammes près.

« II. — Des 285 grammes des deux rations de farine
« additionnées, on extrait 30 grammes de recoupettes,
« qui sont données au chien α avec 145 grammes de
« farine tamisée ; le chien β reçoit seulement 110 gr.
« de farine tamisée ; c'est-à-dire suppression des re-
« coupettes à β et double dose de recoupettes à α .

« *Résultat* : Du 19 novembre au 3 décembre (14 jours),
« le chien α garde son poids constant : 7.500 gr. ; le
« chien β descend de 5.930 gr. à 5.700 ; perte : 230 gr.,
« 16 grammes par jour.

« III. — *Contre-épreuve* : On donne à chaque chien
« sa part de recoupettes, soit 15 grammes en plus de
« la ration ci-dessus de farine tamisée.

« *Résultat* : Du 3 au 10 décembre (7 jours) le poids
« d' α passe à 7.430 gr. ; perte : 70 gr., soit 10 gr. par
« jour ; le poids de β se retrouve à 5.710 ; équilibre à
« 10 grammes près.

« DEUXIÈME SÉRIE. — Farine blanche, préparée au
« laboratoire, avec du blé d'Australie, simplement
« broyé et passé au tamis 100 ; plus, recoupettes em-
« pruntées au moulin de l'Assistance publique de Pa-
« ris, renommé pour la qualité de son travail, comme
« pour son obligeance envers les expérimentateurs ;
« blé de Manitoba soumis à une extraction de 82,5 % ;
« les recoupettes utilisées ici sont le premier produit
« refusé, la meilleure partie de ce qui est versé au son,
« c'est-à-dire le produit que l'on ferait passer dans la
« farine si l'on devait augmenter l'extraction.

« I. — Du 23 décembre 1917 au 10 janvier 1918, α a
« reçu chaque jour (outre les 10 gr. de caséine et les
« 10 gr. de graisse, qui font toujours partie de la ra-
« tion) 133 gr. de farine blanche et 36 gr. de son ;
« β , 111 gr. de farine blanche et 26 gr. de son.

« *Résultat* : En ces 19 jours, α est passé de 7.400 à
« 7.450 gr., accroissement négligeable ; β est resté
« constant à 5.800 gr.

« II. — On supprime le son à α et on en donne à β
« une double ration, soit 52 gr.

« *Résultat* : Du 11 au 23 janvier (12 jours), α passe
« de 7.450 gr. à 7.200 gr. ; perte : 250 gr. (21 gr. par
« jour) ; β passe de 5.880 gr. à 5.950 gr. ; gain : 70 gr.
« (6 gr. par jour).

« III. — *Contre-épreuve* : On rejoinne à chacun sa
« part de son comme en I.

« *Résultat* : Du 24 au 29 janvier (6 jours), α passe de
« 7.200 à 7.300 ; gain : 100 gr. (11 gr. par jour) ; β re-
« descend de 5.950 à 5.880 gr. ; perte : 70 gr. (12 gr.
« par jour).

« IV. — *Expérience croisée* : On donne à α double
« part de son, soit 72 gr. ; à β , rien que ses 111 gr.
« de farine blanche.

« *Résultat* : Du 30 janvier au 12 février (14 jours),
« α passe de 7.300 gr. à 7.500 ; gain : 200 gr. (14 gr.
« par jour) ; β descend de 5.880 gr. à 5.530 ; perte :
« 350 gr. (25 gr. par jour). »

On peut estimer que dans la deuxième série de ces expériences, la quantité de son ajoutée à la farine blanche est considérable :

52 gr. de son pour 111 gr. de farine blanche dans l'expérience II.

72 gr. de son pour 133 gr. de farine blanche dans l'expérience III.

Et ceux qui soutiennent que la valeur alimentaire du son est négligeable pourraient en tirer argument en mettant en regard les gains de poids quotidiens qui correspondent à ces rations renforcées :

6 gr. par jour dans le premier cas.

14 gr. par jour dans le second.

Mais n'oublions pas que ces expériences avaient uniquement pour but de démontrer que « les produits de mouture industrielle refusés lors d'une extraction à 80 % environ » ont une valeur alimentaire. Leurs conditions n'étaient pas réglées pour la détermination du coefficient d'utilisation du son.

Cette détermination a fait l'objet d'expériences spéciales, dont les résultats, communiqués à la Société de biologie le 22 mars 1919, par J. CHAUSSIN, sont exprimés par les chiffres suivants :

	Azoïe total	Cendres	Observations
Son initial.....	2,72	6,8	
Son digéré (2) par le chien.....	0,84	2,8	
Son digéré par le lapin.. . . .	0,72	4,9	Reste très minéralisé
Son digéré par chien et par lapin.	0,91	3,2	id.
Son digéré par chien et par lapin.	0,53	4,3	id.
Son (enveloppes peu fragmentées) digéré par chien.....	1,26	2,8	Reste riche en azote
Le même bidigéré par chien....	4,07	2,3	

Le résidu indigestible de son était { pour le chien de 50,7 %.
pour le lapin de 26 %.

(1) Également effectuées au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum d'Histoire naturelle, sous la direction de M. LAPICQUE.

(2) L'auteur désigne par là le résidu non digéré du son.

Voici maintenant les conclusions de ce travail :

« *Conclusions* : Le lapin digère environ 75 % du son commercial et 40 % des résidus de la digestion du son par le chien ; il digère 30 % des produits du son ayant subi une première digestion par lui, tandis que le chien ne digère que 13 % du son (enveloppes entières) ayant déjà traversé son tube digestif. Les résidus du son ayant traversé le tube digestif sont très déminéralisés chez le chien et peu chez le lapin, ce qui fait songer à la différence d'acidité de leurs sucs digestifs.

« Nous soulignerons la conclusion suivante au point de vue de son importance pratique :

« *Les matières azotées de l'enveloppe du blé sont beaucoup plus attaquées par la digestion du chien, dans le son qui a subi toutes les opérations de mouture que dans les enveloppes entières provenant du simple écrasement du blé.* »

Malgré le nombre de ces expériences et l'autorité scientifique des expérimentateurs, ce ne fut pas sans discussion que leurs conclusions furent acceptées pour être pratiquement appliquées.

G. BERTRAND, tout en reconnaissant que l'utilisation alimentaire du grain s'élève en même temps que le taux d'extraction, ce qui logiquement devrait nous conduire à adopter le pain complet, proposait de s'arrêter au taux d'extraction de 80 %, avec lequel on obtiendrait un coefficient d'utilisation du grain encore voisin de celui du taux d'extraction à 85 % (72 au lieu de 74, suivant son calcul), et qui permettrait de supprimer « la plus grande partie des défauts du pain actuel (à 85), tout en

augmentant dans une proportion notable ($1/3$ en poids, davantage en pouvoir nutritif) la fraction du grain laissée à la disposition du bétail, facteur également indispensable à l'alimentation et à la production agricole » (1).

La Commission d'alimentation de la Société de biologie, sous la présidence de M. Charles Richet, se rangea à l'opinion de MM. LAPICQUE et LEGENDRE. Parmi les conclusions qu'elle adopta (2), nous relevons les suivantes :

« III. — La mouture donne de la farine panifiable et du son. Mais les procédés de la meunerie ne permettent pas de séparer d'une manière parfaite les matières nutritives de l'amande des matières indigestibles de l'enveloppe. Quel que soit le taux d'extraction, il passe toujours dans la farine quelques matières indigestibles et dans le son une proportion notable de substances alimentaires.

« IV. — La valeur alimentaire des sons décroît progressivement à mesure que le taux d'extraction s'élève.

« V. — Il ne faut pas confondre le son, résidu industriel de meunerie, qui a toujours une valeur nutritive appréciable pour l'homme, et l'enveloppe, élément anatomique du blé, qu'on n'obtient jamais pratiquement à l'état pur.

« VI. — L'expression légale de « farine entière » ne

(1) G. BERTRAND. — *C. R. Acad. des Sciences* 1^{er} octobre 1917, p. 438.

(2) Conclusions relatives à la question du blé, des séances de la Commission d'Alimentation de la *Soc. de Biologie*, tenues sous la présidence de M. Charles RICHET. (*C. R. Soc. de Biologie*, 27 juillet 1918, p. 807.)

« correspond à aucune réalité précise, puisque la proportion de produits passant au tamis 100 (100 mailles au pouce linéaire) dépend des conditions de la mouture et peut varier dans de très larges limites.

« VII. — La Commission est d'avis que la seule manière de caractériser une farine serait de déterminer, par une méthode physiologique bien définie, la proportion d'indigestible qu'elle renferme. La méthode de M. DEVILLERS à la pancréatine, bien qu'encore à l'étude, paraît mériter l'attention.

« VIII. — L'extraction à 85 % sur blé moyen est avantageuse et désirable, quand il n'y a pas lieu d'assurer une très longue conservation de la farine. Elle ne laisse que 5 % d'indigestible et permet d'obtenir un bon pain. Elle accroît la quantité de farine disponible pour l'homme sans diminuer sensiblement la valeur alimentaire de celle-ci.

« Les parties du blé qu'on laisse passer pour obtenir des extractions plus élevées donnent des farines de moins en moins nutritives et de plus en plus difficiles à panifier. Le son laissé aux animaux par l'extraction à 85 % contient encore une proportion notable de matières nutritives pour l'homme. »

Nous allons voir qu'un autre groupe de recherches, dans lesquelles le problème alimentaire est examiné d'un point de vue différent, aboutit à des conclusions analogues.

**Deuxième Groupe : Recherches ayant mis en évidence
le rôle indispensable de certaines substances jus-
qu'ici inconnues ou négligées (1).**

VITAMINES. SYMBIOTES. FACTEURS A ET B DE LA CROISSANCE
ET DE L'ÉQUILIBRE.

La vieille querelle des partisans du pain blanc et du pain complet s'est réveillée à la suite des récents travaux concernant la carence alimentaire.

Ces travaux nous ont appris qu'une alimentation donnée, pour suffire aux besoins d'un organisme, doit non seulement représenter un certain nombre quotidien de calories, mais encore contenir, *en certaines proportions*, et *sous une forme déterminée*, toutes les matières azotées, hydrocarbonées, minérales, que l'expérience a montrées nécessaires à la croissance et à l'entretien de l'animal considéré.

Certaines de ces substances agissent à doses très minimes. L'analyse ne nous a pas encore permis de les isoler toutes, de déterminer leur nature chimique, non plus que la forme biologique hors de laquelle elles ne sont pas assimilées. Mais ce que nous savons bien, c'est qu'elles sont indispensables à la vie normale.

La recherche de ces substances est plus que jamais à l'ordre du jour. Nous n'en ferons pas ici un historique détaillé, qui nous entraînerait trop loin.

Rappelons simplement que les premiers travaux qui ont orienté les recherches dans cette voie nouvelle ont

(1) C'est-à-dire : recherches dans lesquelles le problème d'hygiène alimentaire a été examiné du point de vue de la *nature* des aliments et de leur *rôle physiologique*, indépendamment des quantités absorbées et de leur valeur isodynamique, autrement dit : du point de vue de la protection contre la carence.

eu pour point de départ l'étude du *béribéri* (1) chez les populations se nourrissant de riz décortiqué, puis l'étude du *scorbut* (2) dans ses rapports avec l'absorption d'aliments stérilisés ou de conserve. A la suite de ces recherches, on se demanda s'il ne convenait pas de rattacher à la même étiologie d'autres maladies encore : la *pellagre*, le *rachitisme* et même la *tuberculose* (3).

Plusieurs théories se disputent l'explication des phénomènes morbides provoqués par une alimentation incomplète.

Pour les uns, ce serait la déficience des aliments en *vitamines* (4) ; pour les autres, leur déficience en *symbiotes* (5) ; pour d'autres encore (6), la déficience d'un facteur A, soluble dans les graisses, ou d'un facteur B, soluble dans l'eau, ou des deux en même temps.

La théorie des vitamines semble avoir reçu une extension prématurée. Actuellement, une seule vitamine est connue, celle dont Funck a isolé environ 0 gr. 40 à l'état cristallisé, et dont il a vérifié l'action curative sur les troubles névritiques du *béribéri* (7).

(1) EYKMAN. — *Arch. path. anat.*, 1897.

(2) HOLST et FRÖHLICH. — *Journ. of Hygiène*, 1910.

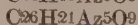
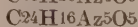
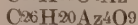
(3) RÉNON. — *Bulletin général de Thérapeutique*, 30 juillet 1914.

(4) C. FUNCK. — *Studies on Beriberi*. — *Chemistry of the Vitamine fraction from yeast and rice-polishing* (*Journal of Physiology*, XLVI). — *Further facts concerning the chemistry of the Vitamine fraction from yeast* (*British Medical Journal*, 19 avril 1913).

(5) P. PORTIER. — *Les Symbiotes*.

(6) MAC COLLUM et DAVIS. — *J. Biol. Chem.*, 1915.

(7) FUNCK attribua successivement à ce corps les formules suivantes :



Cette vitamine fondrait à 233°, 230°, 203°, suivant l'aliment dont elle est extraite.

La théorie des symbiotes, hypothèse hardie, a reçu de telles infirmations (1), résultant de vérifications précises et rigoureusement conduites, qu'elle ne paraît plus pouvoir être soutenue.

Quant aux facteurs A et B, ils nous sont encore inconnus chimiquement, sauf par une de leurs propriétés élémentaires, la solubilité (2). Constatons seulement que leur présence a été signalée dans l'extrait du grain de blé (3) et du grain d'avoine (4).

De tous les faits rassemblés jusqu'à ce jour, une seule notion se dégage, claire et indiscutée, la notion de *carence*, suivant l'heureuse expression employée par MM. WEILL et MOURIQUAND (5) pour grouper les résultats de leurs nombreuses expériences.

Avant de rechercher parmi ceux-ci les faits qui nous apportent des renseignements nouveaux sur la valeur alimentaire des différentes parties du grain de blé, nous devons mentionner que les premières expériences sur la carence nous semblent avoir été faites par MAGENDIE, bien que celui-ci n'en ait pas tiré les conclusions auxquelles nous arrivons aujourd'hui.

MAGENDIE fit notamment l'expérience suivante, souvent invoquée en faveur du pain complet, et qui n'est pas toujours rapportée exactement. En voici le compte rendu (6) :

(1) A. LUMIÈRE. — *Le Mythe des Symbiotes*, 1919.

(2) Mac COLLUM et DAVIS. — *Loc. cit.*, p. 181.

(3) Mac COLLUM et DAVIS. — *Loc. cit.*, p. 231.

(4) Mac COLLUM, SIMMONDS et PITZ. — *Journ. Biol. Chem.*, 1917, p. 341.

(5) Sous l'inspiration de M. le Professeur HUGOUNENQ.

(6) *Précis élémentaire de Physiologie*, par F. MAGENDIE, membre de l'Institut de France, tome II, Paris, Méquignon-Marvis père et fils, août 1833.

« 1° Un chien mangeant à discrétion du pain blanc de
« froment pur et buvant à volonté de l'eau commune, ne
« vit pas au-delà de 50 jours ; il meurt à cette époque
« avec tous les signes de dépérissement notés plus haut
« (cachexie) ;

« 2° Un chien mangeant exclusivement du pain bis
« militaire ou de munition vit très bien, et sa santé ne
« s'altère en aucune façon. »

Et MAGENDIE ajoute :

« L'un des faits les plus remarquables que j'aie consta-
« tés est celui-ci : Si un animal a vécu pendant un cer-
« tain temps avec une substance qui, prise seule, ne
« peut le nourrir, de pain blanc, par exemple, pendant
« quarante jours, en vain à cette époque changera-t-on
« sa nourriture et le rendra-t-on à un régime ordinaire :
« l'animal mangera avec avidité les nouveaux aliments
« qu'on lui présente, mais il continuera à dépérir et sa
« mort n'en arrivera pas moins à l'époque où elle serait
« arrivée s'il avait soutenu son régime exclusif (1). »

Ces résultats sont infirmés par ceux de nos propres expériences. MAGENDIE lui-même fait d'ailleurs remarquer, quelques lignes plus loin, que ces faits « mériteraient d'être suivis et examinés de nouveau ». Il a fallu l'acquisition des connaissances nouvelles concernant la carence pour que cette étude soit reprise d'une façon méthodique et dans des conditions rigoureusement définies.

Les expériences de Weill et Mouriquand ont fait

(1) F. MAGENDIE. — *Loc. cit.*, page 595, paragraphe 7.

l'objet, depuis 1914, d'un grand nombre de communications (1), résumées dans leur livre : « *L'Alimentation et les maladies par carence* » (2). Nous empruntons à cet ouvrage le compte-rendu des expériences suivantes, effectuées soit avec des aliments à base de blé (semoule, macaroni), soit avec le blé lui-même, complet ou décortiqué.

Certaines de ces expériences ont été faites avec la collaboration de P. MICHEL, dans la thèse de qui on en trouvera les protocoles détaillés (3).

« I. — *Semoule grosse (gruaux)*, où l'absence de cuticule a été vérifiée au microscope.

« Trois pigeons mis à cette nourriture exclusive sont morts au 48^e jour et au 53^e jour, après avoir présenté, dans les trois jours précédant la mort, des signes nets de polynévrite, de l'ordre de ceux relevés dans le béribéri (4).

« II. — *Macaroni* (5). Deux pigeons mis au macaroni pilé sec (sans œufs) ont présenté le syndrome polynévritique.

« Un pigeon, mis à 20 gr. de macaroni cru, a présenté des signes de polynévrite au 90^e jour, et est mort au 118^e.

« Un pigeon, mis à 20 gr. de macaroni bouilli pendant cinq minutes (absorption de 90 gr. d'eau), a pré-

(1) Voir *Index bibliographique*.

(2) WEILL et MOURIQUAND. — *L'alimentation et les maladies par carence*. (Recherches couronnées par l'Académie des Sciences, prix BARBIER, 1917.) Librairie J.-B. BAILLIÈRE et Fils, Paris 1919.

(3) P. MICHEL. — *Essai sur la carence alimentaire*. (Thèse de Lyon, 1916.)

(4) WEILL et MOURIQUAND. — *Loc. cit.*, p. 94.

(5) Les pâtes alimentaires (macaroni, vermicelle, nouilles, etc.), sont généralement faites avec des gruaux de blés durs.

« senté au 55^e jour des manifestations béribériques et
« en est mort au 58^e (1).

« III. — *Blé décortiqué* (avec P. MICHEL). Le blé
« vendu sous ce nom par le commerce n'est en réalité
« pas entièrement décortiqué, surtout en ce qui con-
« cerne le quart au moins de ses grains. Nous avons
« choisi avec attention (2) ceux dont la décortication
« nous paraissait la plus parfaite (vérification micros-
« copique). Il est à noter que cette décortication n'est
« peut-être jamais absolue, car un peu de cuticule per-
« siste presque toujours dans le sillon du grain. La dé-
« cortication est en tous cas moins hautement poussée
« que celle des semoules ou farines passées aux cylin-
« dres.

« Un pigeon est mis au gavage de 40, puis 30 gr. de
« blé décortiqué (grains entiers). La santé, en dehors de
« troubles digestifs, s'est maintenue normale jusqu'au
« 134^e jour ; à ce moment apparaissent les manifesta-
« tions nerveuses de la carence : abolition à peu près
« complète de la marche et du vol, titubation intense,
« sans phénomènes convulsifs. Mort au 135^e jour.

« Dans l'expérience suivante, les accidents de carence
« sont plus précocement apparus : un pigeon, mis au
« blé décortiqué, après une période de très bonne nutri-
« tion (augmentation de poids), a présenté des troubles
« digestifs, puis, au 43^e jour, du raccourcissement du
« vol et de la paraplégie totale au 47^e. Il est mort au
« 48^e jour, après avoir été légèrement amélioré par un
« gavage au blé complet. »

(1) WEILL et MOURIQUAND. — *Loc. cit.*, p. 67.

(2) WEILL et MOURIQUAND. — *Loc. cit.*, p. 95.

« IV. — *Blé décortiqué additionné de 20 % de blé complet.*

« Un pigeon a suivi ce régime pendant 96 jours sans phénomènes de carence. Mort au 96^e jour accidentellement (troubles digestifs) (1). »

« V. — *Blé complet* (30 grammes par pigeon).

« Un pigeon s'est maintenu pendant 184 jours en santé normale sans acquérir de poids (poids 430 gr. le 6 janvier 1914, 430 gr. le 4 juillet 1914). L'expérience a été suspendue au bout de ce temps.

« Un deuxième pigeon s'est maintenu en santé pendant 59 jours, deux autres pendant un mois, temps au bout duquel l'expérience a été suspendue.

« Le pouvoir alimentaire et surtout antibéribérique du blé complet peut être encore nettement apprécié dans les expériences suivantes :

« Des pigeons ayant été paralysés par la consommation de céréales décortiquées (riz, orge, etc.), leur alimentation consécutive par des grains de blé complet a permis leur retour rapide à la marche, au vol normaux et à la santé (2). »

« VI. — *Blé complet stérilisé* à l'autoclave à 120° pendant une heure et demie.

« Pigeon adulte. Poids 410 gr. Gavage à 40 gr., puis 30 gr. par jour. Accoutumance facile.

« 72^e jour : diarrhée jaunâtre.

« 108^e jour : vol peu soutenu. Marche bien. Diarrhée persistante. Vomissements presque quotidiens. Néanmoins, le poids reste stationnaire entre 400 et 420 gr.

(1) P. MICHEL. — *Loc. cit.*, p. 97.

(2) WEILL et MOURIQUAND. — *Loc. cit.*, p. 94.

« 120^e jour : pigeon entièrement normal. Vole bien.
« Marche soutenue. Continue à vomir et à avoir un peu
« de diarrhée.
« Interruption de l'expérience. »

Dans cette expérience, contrairement aux résultats obtenus précédemment avec d'autres céréales stérilisées, le blé complet stérilisé n'a pas donné lieu aux phénomènes classiques de la carence. « Bien mieux, il semble
« que le blé stérilisé ait même été mieux supporté que
« le blé cru, en ce sens que les troubles digestifs ont été
« moins intenses et qu'ils n'ont menacé, à aucun mo-
« ment, la vie du sujet (3). »

Ces expériences semblent apporter un argument nouveau et très puissant en faveur du pain complet.

Il y aurait donc, à la périphérie du grain, non seulement une plus forte proportion de matières azotées, de matières grasses et de matières minérales, mais parmi celles-ci, ou en dehors de celles-ci, de ces substances minimales appelées par les uns vitamines, par les autres facteurs A et B, et dont nous savons encore bien peu de chose, si ce n'est qu'elles sont indispensables à la vie.

Quelle en est l'importance, dans les différentes parties du grain de blé, au point de vue de la nutrition et de la croissance, chez des animaux plus proches de l'homme que les oiseaux ou les rongeurs ?

Telle était la première question que MM. les professeurs Morel et Mouriquand se proposèrent de résoudre, avant de rechercher la localisation précise de ces subs-

(3) P. MICHEL. — *Loc. cit.*, p. 112.

tances, et d'essayer d'en déterminer la nature chimique, objet de leurs travaux actuellement en cours.

Connaissant l'expérience qu'une longue pratique de la préparation des farines de régimes nous a donnée, ils ont bien voulu accepter notre collaboration dans ces recherches préliminaires, qui furent effectuées sous leur direction et leur contrôle au Laboratoire de chimie organique et de toxicologie de la Faculté de médecine et de pharmacie de Lyon.

Qu'ils veuillent bien recevoir ici l'hommage de notre reconnaissance pour la bienveillance avec laquelle ils nous ont accueilli !

DEUXIÈME PARTIE

Expériences personnelles

Le protocole et les résultats de ces expériences ont été publiés en collaboration avec MM. les Professeurs MOREL et MOURIQUAND aux séances de la Société de pharmacie de Lyon des 11 février, 14 avril et 12 mai 1920 (1).

Choix des sujets.

Dans l'ignorance où l'on est de la nature et des fonctions chimiques des substances qu'il s'agit d'étudier, toute recherche devait commencer par la mise en évidence de leur présence ou de leur absence dans les aliments essayés, au moyen de réactifs d'analyse biochimique, — en l'espèce, des animaux pris comme sujets d'expérience.

Nous ne pouvons nous contenter des résultats obtenus précédemment chez les oiseaux ou les rongeurs. En comparant les effets d'un régime carencé donné, d'une part sur des pigeons, d'autre part sur des cobayes ou des lapins, WEILL et MOURIQUAND ont constaté que les

(1) Albert MOREL, G. MOURIQUAND et M. MIGUET. — *Recherches expérimentales sur la valeur alimentaire des différentes parties du grain de blé.* (Bulletin Pharmaceutique de l'Est, avril et juin 1920.)

troubles ainsi provoqués ne sont pas les mêmes chez ces divers animaux.

Cela doit nous inviter à être prudents dans l'extension des résultats d'une expérience.

« Il ne faut pas se hâter », disent WEILL et MOURIQUAND (1), « de conclure du pigeon à l'homme. »

« Il en est de même pour la question des végétaux « (lapins) ou de la viande (chats), la nutrition des herbivores et des carnivores étant adaptée à une nourriture pour ainsi dire « *spécifique* ». D'autre part, « l'entraînement alimentaire peut contribuer à déterminer l'« *adaptation* » plus ou moins complète des « herbivores à une alimentation carnée, et *vice versa*. »

C'est pourquoi nous avons fait choix du chien, « carnivore par son organisation, moins favorable évidemment que la nôtre à l'utilisation des aliments végétaux (intestin plus court, pas de molaires aptes à « broyer le son) » (2), qui s'est adapté, par une longue cohabitation avec l'homme, à son régime, et qui semble digérer de la même façon le pain, la farine et le son, ainsi que l'a établi par des expériences antérieures avec M. L. LAPICQUE, M. J. CHAUSSIN (3). « Le résidu indigestible du blé haché, dit-il, converti en pain « complet et ingéré par le chien, donne un nombre tout « à fait voisin de celui indiqué pour l'homme par Aimé « GIRARD (ce dernier obtenu par ingestion d'enveloppes « de blé disséquées mécaniquement). »

(1) WEILL et MOURIQUAND. — *L'alimentation et les maladies par carence*. (Recherches couronnées par l'Acad. des Sciences, prix BARRIÈRE, 1917.) Paris, J.-B. BAILLIÈRE et Fils, 1919.

(2) LAPICQUE et CHAUSSIN. — *C. R. Soc. de Biol.*, 13 avril 1918, p. 321.

(3) J. CHAUSSIN. — *C. R. Soc. de Biol.*, 22 mars 1919, p. 269.

« Plusieurs essais consécutifs faits sur des blés différents moulus grossièrement, de façon à pouvoir servir à la confection d'une pâte, ont confirmé ce premier résultat et nous ont fait employer, à diverses reprises, l'ingestion par le chien de divers produits de meunerie, le son en particulier, comme un moyen d'analyse physiologique de la valeur alimentaire de ceux-ci. »

Nous avons donc pris des chiens comme sujets de nos expériences et, pour que les résultats soient autant que possible comparables, nous avons eu le soin de prendre quatre jeunes chiens d'une même portée.

Ces chiens, nés le 7 avril 1919, ont été séparés de leur mère et amenés au laboratoire le 19 mai.

Pour écarter de nos expériences les troubles afférents au sevrage et à l'acclimatement des chiens, de même que pour leur laisser le temps de s'adapter à leur nourriture nouvelle et pour réaliser leur sevrage progressif, nous avons ménagé, avant le début de notre première expérience, une période préparatoire (du 19 mai au 30 juin 1919), pendant laquelle ces animaux étaient soumis aux conditions générales d'existence qui devaient être celles de nos expériences, et à un régime de transition composé des mêmes aliments que celui de nos expériences mêmes.

Durée des expériences.

1° Période préparatoire : du 19 mai au 30 juin (40 jours).

2° Première expérience : du 1^{er} juillet au 20 septembre (80 jours).

3° Deuxième expérience : du 25 septembre au 4 décembre (70 jours).

4° Troisième expérience : du 15 janvier au 4 février (20 jours).

5° Quatrième expérience : du 1^{er} avril au 24 juin (84 jours).

Conditions générales d'existence des animaux.

Les chiens passaient chaque jour huit heures à jouer librement dans un enclos au grand air et à la lumière. Le reste du temps, et pour prendre leurs repas, ils étaient chacun dans une cage située dans un local sain et sec.

Ils recevaient chacun trois repas par jour. Une personne était affectée à leur service exclusif pour les soins à leur donner.

Aliments expérimentés.

Du même blé (1), on a extrait :

1° Une farine au taux d'extraction de 55 %, provenant du centre de l'albumen ;

2° Une farine au taux d'extraction de 80 %, qui peut être considérée comme représentant la totalité de l'albumen, avec quelques fragments du germe, de l'assise protéique et du péricarpe ;

3° Une farine complète (blé complet moulu) ;

4° Des germes de meunerie, dont nous allons indiquer la composition et l'emploi. Il est difficile d'obtenir

(1) Blé tendre des Deux-Sèvres. Ce renseignement s'applique aux expériences 1 et 2 seulement. Par la suite, nous avons dû employer des farines provenant de blés différents.

purs, industriellement, des embryons de blé. Ces germes sont toujours mélangés à des débris du péricarpe, qui entraînent avec eux une quantité notable de l'assise protéique, et un peu de la partie périphérique de l'albumen. Pour simplifier, nous désignons sous le nom de *germes de meunerie* un mélange dont la composition moyenne était la suivante :

Embryons proprement dits	29 %
Assise protéique	22 %
Péricarpe.	41 %
Partie périphérique de l'albumen	8 %

Nous avons obtenu *une quatrième farine* en ajoutant, à la farine à 80 % mentionnée plus haut, 5 % de germes de meunerie.

Cette opération a eu pour but d'obtenir une farine contenant autant de germes que la farine complète, mais en éliminant une partie du péricarpe et en sacrifiant, par le fait même, une partie de l'assise protéique.

L'addition de 5 % de germes de meunerie apporte à la farine à 80 % :

Embryons proprement dits 1,45 %
c'est-à-dire à peu près la teneur en germes de la farine complète.

Ces quatre farines servirent à faire autant de pains, — sur la préparation desquels nous reviendrons plus loin d'une façon détaillée — dont la teneur en cendres, y compris le chlorure de sodium ajouté (0,40 %), en acide phosphorique, en matières azotées, a été déterminée et était de :

	Cendres ‰ de pain	P ¹ O ⁵ ‰ de pain	Mat. azotées ‰ de pain
Pain N° I (à 55 ‰).....	0,89	0,23	8,05
Pain N° II (à 80 ‰).....	1,64	0,30	8,83
Pain N° III (complet).....	2,38	0,71	10,85
Pain N° IV (à 80 ‰ + germes)...	1,67 (1)	0,46	10,06

Composition des rations.

Celles-ci ont été modifiées progressivement au cours des expériences, d'une part pour maintenir la valeur calorigène de l'ensemble des aliments proportionnelle au poids des animaux et, d'autre part, pour tenir compte de la diminution des besoins de ceux-ci pour leur croissance, à mesure qu'ils avançaient en âge.

Quant à la nature du pain donné à chaque animal, elle a varié d'une expérience à l'autre, afin de contrôler par des croisements de régimes les résultats obtenus dans la première expérience.

Première expérience.

1° QUANTITÉS D'ALIMENTS. — Chaque chien recevait quotidiennement par kilog de poids vif :

Du 1 ^{er} juillet au 5 août	Du 6 août au 20 septembre
25 centimètres cubes de lait.	20 centimètres cubes de lait.
50 grammes de pain.	40 grammes de pain.
10 gr. de dent-de-lion crue. (2)	10 gr. de dent-de-lion crue. (2)
Eau à discrétion.	Eau à discrétion.

(1) Riches en fer et en manganèse.

(2) L'addition de dent-de-lion crue, dans les trois premières expériences, a eu pour but d'écarter de celles-ci, avec certitude, jusqu'à l'hypothèse même de troubles scorbutiques. Nous nous réservons de vérifier l'apparition de ceux-ci, s'ils se produisent, au cours de la quatrième expérience, où les pains sont employés seuls, à l'exclusion de tout autre aliment.

2° NATURE DU PAIN (1).

Chien n° 1 : Farine au taux d'extraction de 55 %.

Chien n° 2 : Farine au taux d'extraction de 80 %.

Chien n° 3 : Farine complète (blé complet moulu).

Chien n° 4 : Farine à 80 % plus 5 % de germes de meunerie.

Deuxième expérience.

1° QUANTITÉS D'ALIMENTS. — Chaque chien recevait quotidiennement par kilog de poids vif :

10 cent. cubes de lait.

40 grammes de pain.

10 grammes de dent-de-lion crue.

Eau à discrétion.

2° NATURE DU PAIN.

Chien n° 1 : Farine à 80 % plus 5 % de germes de meunerie.

Chien n° 2 : Farine complète (blé complet moulu).

Chien n° 3 : Farine au taux d'extraction de 80 %.

Chien n° 4 : Farine au taux d'extraction de 55 %.

Comme on le voit, entre la première et la deuxième expérience les régimes des chiens n° 1 et n° 4 ont été croisés, ainsi que ceux des chiens n° 2 et n° 3.

Troisième expérience.

1° QUANTITÉS D'ALIMENTS. — Chaque chien recevait quotidiennement par kilog de poids vif :

(1) Pendant la période préparatoire, la répartition des pains était la même que pendant la première expérience, mais les quantités d'aliments étaient les suivantes, par kilo de poids vif :

50 centimètres cubes de lait.

25 grammes de pain.

10 grammes de dent-de-lion crue,

Eau à discrétion.

10 cent. cubes de lait.

30 grammes de pain.

10 grammes de dent-de-lion crue.

Eau à discrétion.

2° NATURE DU PAIN. — Les deux expériences précédentes ayant mis en évidence la haute valeur alimentaire des germes de meunerie, cette troisième expérience a porté exclusivement sur la farine à 80 % additionnée de ces germes, comparée à la même farine sans germes.

Chien n° 1 : Farine au taux d'extraction de 80 %.

Chiens n° 2, 3 et 4 : Farine à 80 % plus 5 % de germes de meunerie.

Quatrième expérience (encore en cours).

Cette expérience est un contrôle de l'expérience unique de MAGENDIE (1), souvent invoquée, jamais vérifiée. depuis cet auteur, bien que nous n'ayons aucun renseignement précis sur les conditions dans lesquelles elle a été effectuée.

Nous rappelons que d'après MAGENDIE le pain complet, absorbé comme aliment exclusif, serait capable d'assurer l'entretien d'un chien pendant un laps de temps dont il néglige de nous indiquer la durée, alors que le pain blanc, dans les mêmes conditions, provoquait la cachexie d'un autre chien et amenait sa mort au bout de 50 jours.

Comme le pain blanc de MAGENDIE (1833) avait pour base une farine de meules, nous avons comparé la

(1) MAGENDIE. — *Précis élémentaire de Physiologie*, 1833, tome II.

farine à 55 % et la farine à 80 %, l'une moins riche, l'autre probablement plus riche en éléments de la périphérie du grain que celle qui avait servi à faire le pain blanc de MAGENDIE.

D'autre part, le pain de farine à 80 % plus 5 % de germes ayant donné des résultats supérieurs à ceux du pain complet, nous l'employons concurremment avec ce dernier.

1° QUANTITÉ DE PAIN. — Chaque chien reçoit quotidiennement par kilo de poids vif :

25 grammes de pain.

Eau à discrétion.

2° NATURE DU PAIN.

Chien n° 1 : Farine à 80 % plus 5 % de germes de meunerie.

Chien n° 2 : Farine complète (blé complet moulu).

Chien n° 3 : Farine au taux d'extraction de 55 %.

Chien n° 4 : Farine au taux d'extraction de 80 %.

Renseignements sur la préparation des pains.

Contrôle de la température de cuisson.

Nous avons vu précédemment que la panification aboutit à faire, de la farine complète, un aliment lourd et indigeste, et qui, pour ce motif, ne donne pas le rendement alimentaire qu'on en pourrait attendre.

Pour apprécier la valeur alimentaire de chacune de nos farines, il convenait de leur donner une forme éminemment digestible. Pour cela, nous avons eu recours à un procédé de préparation en usage depuis plusieurs années pour une farine destinée aux enfants en bas-âge,

Par ce procédé (1), entièrement différent de la panification, et qui ne comporte l'emploi, ni de levain, ni de levure, ni de ferments d'aucune sorte, on obtient des galettes de couleur jaune roux.

Ce sont ces galettes que nous désignons sous le nom de pains. En réalité, elles diffèrent du pain par leur composition et leur couleur homogènes : elles sont sans mie et très friables. Dans leur préparation, on ajoutait 4 grammes de sel de cuisine (sel fin) par kilog de farine.

En raison des travaux récents qui ont semblé prouver que la stérilisation des aliments est un facteur de carence (2), nous avons tenu à contrôler minutieusement la température de l'intérieur des pains, laquelle, par suite de la faible épaisseur de ceux-ci (environ 7 millimètres), est d'ailleurs peu différente de l'extérieur à l'intérieur.

Pour cela, au lieu de nous servir de thermomètres, nous avons employé une série de petits tubes minces, remplis chacun d'un mélange différent, fusible à une température connue, et nous les avons entièrement noyés dans la pâte avant la cuisson.

Les tubes renfermant un mélange d'urée et de violet de gentiane (point de fusion : 132°) ont présenté, soit une fusion partielle, soit la fusion totale du contenu.

(1) Ce procédé consiste essentiellement, après un pétrissage mécanique en un seul temps, en présence de l'acide carbonique, et un temps d'apprêt très court, dans l'intervention progressive et très surveillée de la chaleur, en présence de la vapeur d'eau.

L'opération, commencée à une température moyenne, dans un premier four, s'achève dans un second four, de telle sorte qu'à la fin de l'opération, qui dure à peu près une heure et demie au total, la température des galettes atteigne environ 130°. (Procédé MIGUET-JACQUEMAIRE.)

(2) Ou d'hypercarence (WEILL et MOURIQUAND), pour les aliments déjà carencés.

Estimation des effets des différents régimes.

Chaque animal a été pesé chaque jour à 10 heures du matin, c'est-à-dire après avoir satisfait ses besoins naturels, dans la période de liberté au grand air et entre les deux premiers repas.

Des tableaux ont été dressés (p. 112 à 117), indiquant, pour chaque expérience, le poids initial de chaque animal, ses gains de poids successifs relevés par décade (1), et exprimés, d'une part en grammes, d'autre part en tant pour cent du poids au début de l'expérience.

Pour les trois premières expériences nous en avons tiré des graphiques (2), faisant apprécier d'un seul coup d'œil l'importance des variations de poids des animaux d'une décade à l'autre, et permettant de les comparer.

Afin que ces graphiques soient également comparables entre eux, nous devons tenir compte du fait que les longueurs représentant l'accroissement total des chiens correspondent, dans le premier graphique à 80 jours de croissance, dans le deuxième à 70 jours, et dans le troisième à 20 jours seulement.

Les longueurs à choisir comme *unités d'accroissement pendant un jour* (c'est-à-dire les échelles de nos graphiques) doivent donc être entre elles comme les nombres $\frac{1}{80}$, $\frac{1}{70}$, $\frac{1}{20}$.

(1) Nous n'indiquons pas les variations quotidiennes, qui ne donnent aucune indication relativement à la nourriture assimilée. Ces variations dépendent, en effet, de la quantité des aliments en stase intestinale, des urines, de l'hydratation des tissus, très variable pendant les chaleurs.

(2) Voir pages 118, 119 et 120.

Tableau I

PREMIÈRE EXPÉRIENCE Du 1 ^{er} juillet au 20 septembre 1919	CHIEN N° 1		CHIEN N° 2		CHIEN N° 3		CHIEN N° 4	
	AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS	
	en grammes	o. o.	en grammes	o. o.	en grammes	o. o.	en grammes	o. o.
1 ^{re} décade	290	6,85	310	7,78	580	11,95	520	15,52
2 ^e —	130	2,87	240	5,59	405	7,45	510	13,17
3 ^e —	290	6,23	190	4,19	675	11,56	420	9,58
4 ^e —	200	4,04	230	4,87	340	5,22	320	6,66
5 ^e —	300	5,83	400	8,08	380	5,54	370	7,22
6 ^e —	150	2,75	190	3,55	380	5,25	310	5,64
7 ^e —	200	3,57	160	2,88	290	3,81	100	1,72
8 ^e —	260	4,49	210	3,68	290	3,67	300	5,08
	Augmentation moyenne pour cent	4,57	Augmentation moyenne pour cent	5,07	Augmentation moyenne pour cent	6,80	Augmentation moyenne pour cent	8,07

Première expérience. — Augmentations de poids par décade :

1^o en grammes ; 2^o pour cent du poids de l'animal au début de la décade.

Tableau II

PREMIÈRE EXPÉRIENCE du 1 ^{er} juillet au 20 septembre 1919	CHIEN N° 1 Poids initial 4 k. 230		CHIEN N° 2 Poids initial 3 k. 980		CHIEN N° 3 Poids initial 4 k. 850		CHIEN N° 4 Poids initial 3 k. 350	
	GAIN TOTAL		GAIN TOTAL		GAIN TOTAL		GAIN TOTAL	
	en grammes	%	en grammes	%	en grammes	%	en grammes	%
A la fin de la								
1 ^{re} décade	290	6,83	340	7,78	580	44,95	520	45,52
2 ^e —	420	9,92	550	13,81	985	20,30	4030	30,74
3 ^e —	740	16,78	740	18,59	1660	34,22	1450	43,28
4 ^e —	940	24,51	970	24,37	2000	41,23	1770	52,83
5 ^e —	1210	28,60	1370	34,42	2380	49,07	2140	63,88
6 ^e —	1360	32,45	1560	39,49	2760	56,90	2450	73,13
7 ^e —	1560	36,87	1720	43,21	3050	62,88	2550	76,11
8 ^e —	1820	43,02	1930	48,49	3340	68,86	2850	85,07

Première expérience. — Gain total de poids, du début de la première expérience à la fin de chaque décade :
1^o en grammes; 2^o pour cent du poids initial.

Tableau III

DEUXIÈME EXPÉRIENCE Du 25 septembre au 4 décembre 1919	CHIEN N° 1		CHIEN N° 2		CHIEN N° 3		CHIEN N° 4	
	AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS	
	en grammes	o/o	en grammes	o/o	en grammes	o/o	en grammes	o/o
1 ^{re} décade	460	7,65	420	2,19	70	0,84	— 60	— 0,97
2 ^e —	330	5,10	330	5,46	500	5,95	120	1,97
3 ^e —	300	4,41	330	5,18	590	6,62	170	2,74
4 ^e —	300	4,22	500	7,46	620	6,53	260	4,08
5 ^e —	200	2,70	250	3,47	60	0,59	290	4,37
6 ^e —	510	6,71	230	3,08	350	3,44	310	4,47
7 ^e —	300	3,69	450	4,93	— 170	— 1,61	40	0,55
	Augmentation moyenne pour cent 4,92		Augmentation moyenne pour cent 4,11		Augmentation moyenne pour cent 3,19		Augmentation moyenne pour cent 2,45	

Deuxième expérience. — Augmentations de poids par décade :
1^o en grammes; 2^o pour cent du poids de l'animal au début de la décade.

Tableau IV

DEUXIÈME EXPÉRIENCE du 25 septembre au 4 décembre 1919	CHIEN N° 1. Poids initial 6 k. 010		CHIEN N° 2. Poids initial 5 k. 220		CHIEN N° 3 Poids initial 8 k. 330		CHIEN N° 4 Poids initial 6 k. 140	
	GAIN TOTAL		GAIN TOTAL		GAIN TOTAL		GAIN TOTAL	
	en grammes	%	en grammes	%	en grammes	%	en grammes	%
A la fin de la								
1 ^{re} décade	460	7,65	120	2,19	70	0,84	—	— 0,97
2 ^e —	790	13,14	450	7,60	570	6,84	60	0,97
3 ^e —	1090	18,13	780	13,17	1160	13,92	230	3,74
4 ^e —	1390	23,12	1280	21,62	1780	21,36	490	7,98
5 ^e —	1590	26,43	1530	25,84	1840	22,08	780	12,70
6 ^e —	2100	34,94	1760	29,72	2190	26,29	1090	17,75
7 ^e —	2400	39,93	1910	32,26	2020	24,23	1130	18,40

Deuxième expérience. — Gain total de poids, du début de la deuxième expérience à la fin de chaque décade :
1^{re} en grammes; 2^e pour cent du poids initial.

Tableau V
Troisième expérience : Augmentations de poids par décade.

TROISIÈME EXPÉRIENCE Du 15 janvier au 4 février 1920	CHIEN N° 1		CHIEN N° 2		CHIEN N° 3		CHIEN N° 4	
	AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS		AUGMENTATIONS DE POIDS	
	en grammes	%	en grammes	%	en grammes	%	en grammes	%
1 ^{re} décade	200	4,92	430	5,36	500	4,38	430	5,36
2 ^e décade	250	2,36	350	4,14	370	3,10	140	4,65
	Augmentation moyenne pour cent 2,44		Augmentation moyenne pour cent 4,75		Augmentation moyenne pour cent 3,74		Augmentation moyenne pour cent 3,50	

Tableau VI
Troisième expérience. — Gain total de poids, du début de l'expérience à la fin de chaque décade.

TOTAL arrêté à la fin de la	POIDS INITIAL 10 k. 400		POIDS INITIAL 8 k. 020		POIDS INITIAL 11 k. 400		POIDS INITIAL 8 k. 010	
	GAIN TOTAL		GAIN TOTAL		GAIN TOTAL		GAIN TOTAL	
	en grammes	%	en grammes	%	en grammes	%	en grammes	%
1 ^{re} décade	200	4,92	430	5,36	500	4,38	430	5,36
2 ^e décade	450	4,32	780	9,72	870	7,63	570	7,11

Tableau VII

QUATRIÈME EXPÉRIENCE Du 1 ^{er} avril au 24 juin 1919	CHIEN N° 1 Poids initial 11 k. 020	CHIEN N° 2 Poids initial 9 k. 500	CHIEN N° 3 Poids initial 11 k. 750	CHIEN N° 4 Poids initial 8 k. 900
	DIFFÉRENCES en plus ou en moins	DIFFÉRENCES en plus ou en moins	DIFFÉRENCES en plus ou en moins	DIFFÉRENCES en plus ou en moins
Au 11 avril — 24 avril — 4 ^{er} mai — 11 mai — 24 mai — 31 mai — 10 juin — 20 juin	— 20 gr.	+ 100 gr.	— 100 gr.	+ 200 gr.
	+ 30 gr.	+ 300 gr.	— 230 gr.	+ 260 gr.
	+ 30 gr.	+ 350 gr.	— 100 gr.	+ 180 gr.
	+ 100 gr.	+ 330 gr.	— 220 gr.	+ 100 gr.
	+ 180 gr.	+ 280 gr.	— 270 gr.	+ 160 gr.
	+ 140 gr.	+ 250 gr.	— 250 gr.	+ 180 gr.
	+ 200 gr.	+ 200 gr.	— 300 gr.	+ 250 gr.
	+ 80 gr.	+ 50 gr.	— 350 gr.	+ 250 gr.
Au 24 juin	+ 130 gr.	+ 150 gr.	— 350 gr.	+ 300 gr.
	soit + 1,48 %	soit + 1,58 %	soit — 2,97 %	soit + 3,37 %

Quatrième expérience. — Différences avec le poids initial, constatées à la fin de chaque décade.

85,07

GRAPHIQUE N° 1.

Première expérience.

(80 jours).

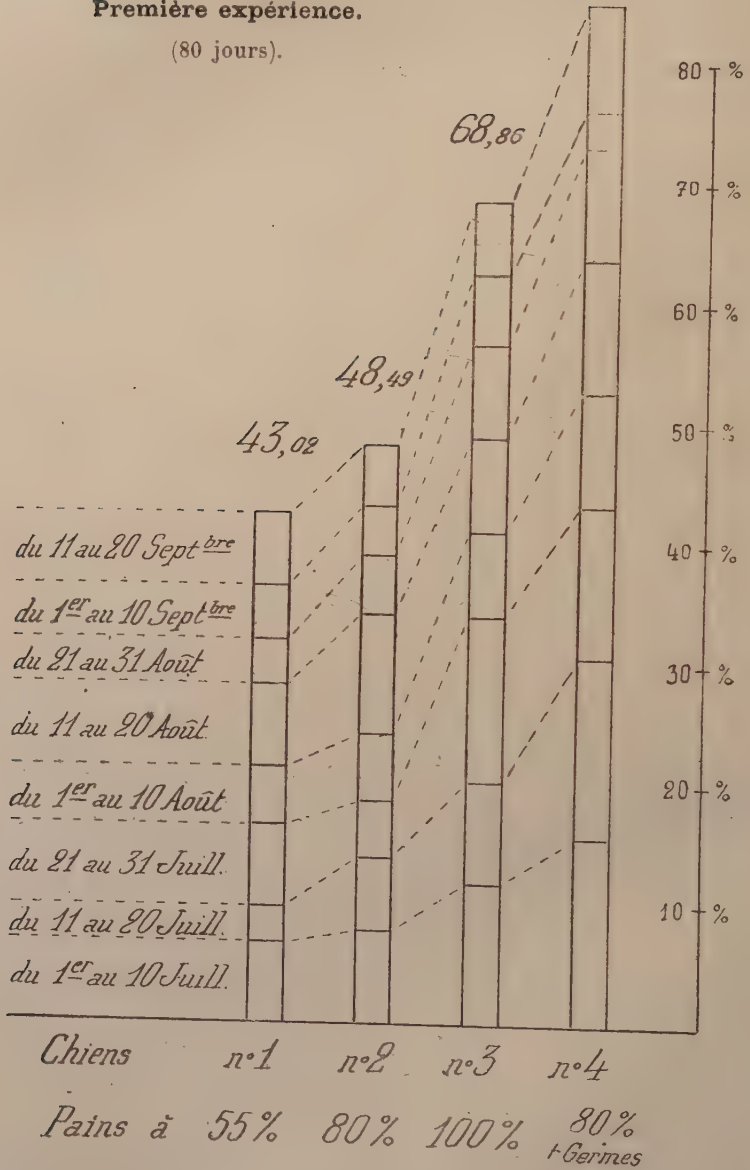


Fig. 11.



Fig. 12.



Rachitisme expérimental.

Chien n° 1, à la fin de la première expérience (vues de face).

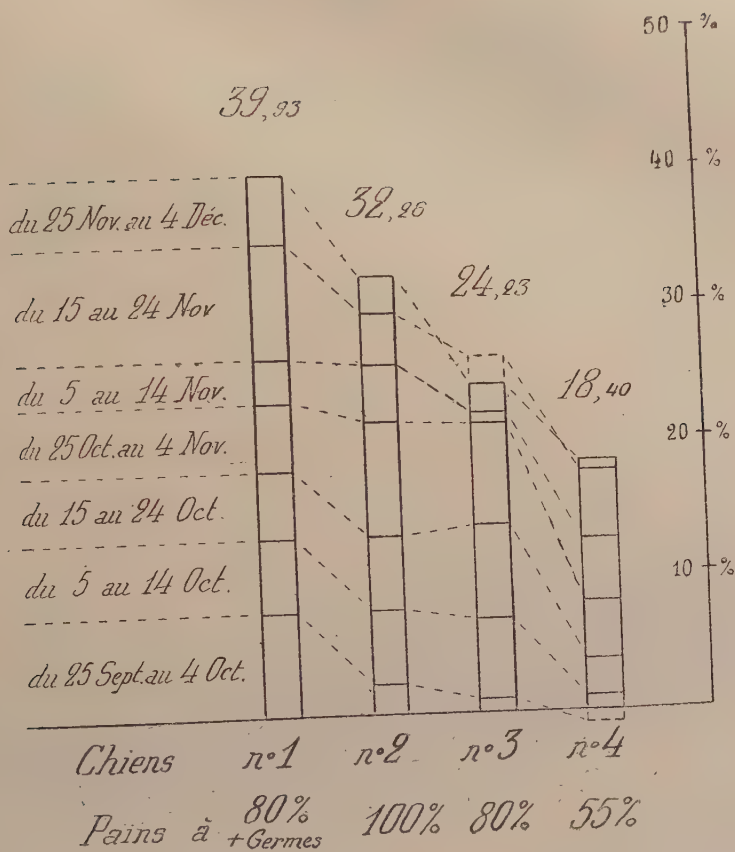
FIG. 13.



Rachitisme expérimental.

Chien n° 4, à la fin de la première expérience (vue de profil).

GRAPHIQUE N° 2.
Deuxième expérience.
(70 jours).



GRAPHIQUE N° 3.

Troisième expérience.

(20 jours).

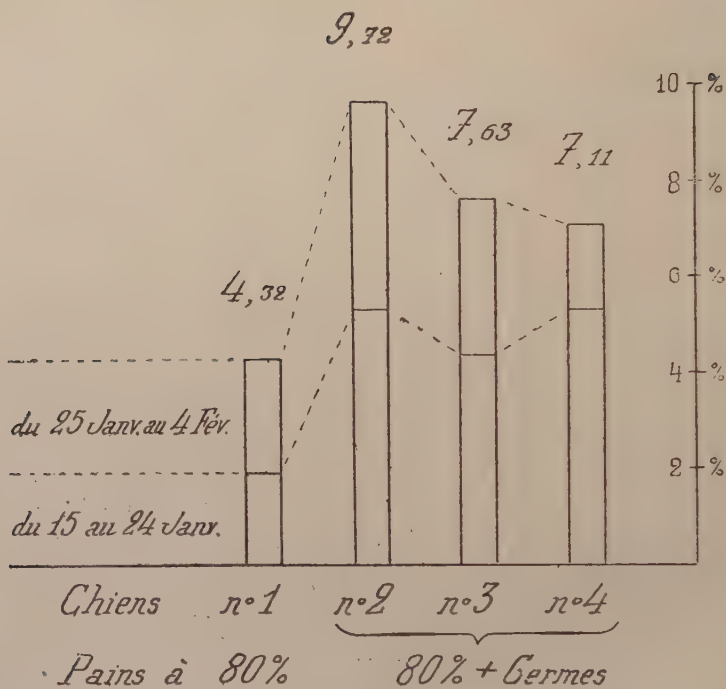
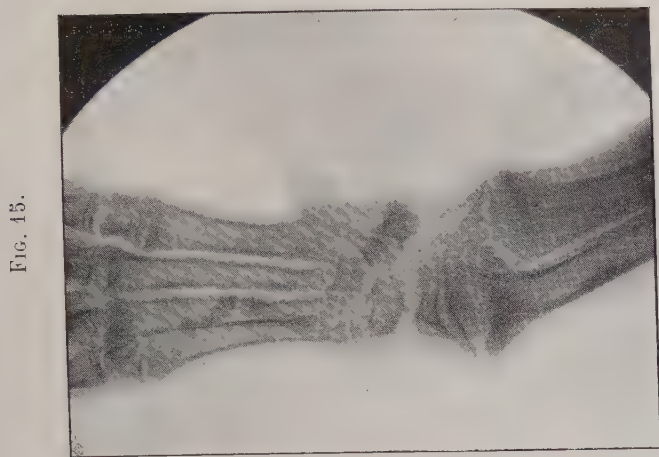
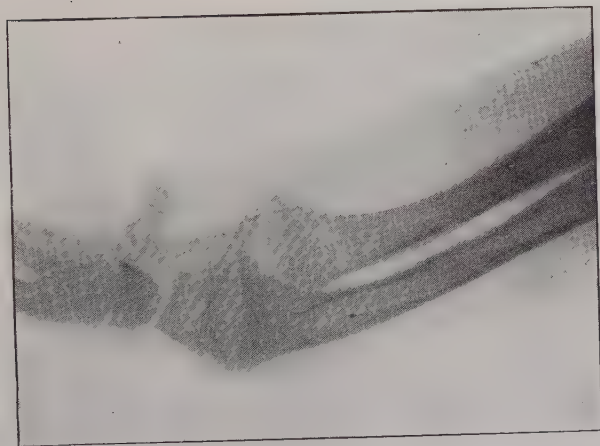


Fig. 14.



Rachitisme expérimental.

Chien n° 1, à la fin de la première expérience. Radiographies des membres antérieurs.
(Exécutées par le D^r Nogiez, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon, 24 septembre 1919.)

Nous n'avons pas établi de graphique pour la quatrième expérience, qui a pour sujets les chiens arrivés à l'état adulte. Dans cette expérience, les augmentations de poids ne peuvent être importantes ; il n'y a pas non plus de diminution très notable jusqu'ici (moins de 3 % pour le chien n° 3, qui est au pain à 55 %).

L'estimation des effets des différents régimes, à mesure que l'expérience se prolongera, ne devra pas d'ailleurs se borner à l'examen des variations de poids. Il sera nécessaire de surveiller l'état physiologique de chaque animal pour rechercher les troubles éventuels dus à la carence.

Résumé des résultats.

Au cours de la *première expérience*, l'augmentation de poids de chaque animal a été, en 80 jours, par rapport à son poids au début de l'expérience :

Pour le chien n° 1 (farine à 55 %).....	43,02 %
Pour le chien n° 2 (farine à 80 %).....	48,49 %
Pour le chien n° 3 (farine complète)	68,86 %
Pour le chien n° 4 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	85,07 %

Au cours de la *deuxième expérience*, l'augmentation de poids de chaque animal a été, en 70 jours, par rapport à son poids au début de cette expérience :

Pour le chien n° 1 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	39,93 %
Pour le chien n° 2 (farine complète)	32,26 %
Pour le chien n° 3 (farine à 80 %)	24,23 %
Pour le chien n° 4 (farine à 55 %)	18,40 %

Nous avons laissé en dehors de la deuxième expérience la période du 4 décembre au 15 janvier, bien que les chiens, dans ce laps de temps, aient continué à suivre le même régime, et bien que les résultats obtenus

soient confirmatifs des premiers. Cette période a en effet été marquée par des troubles passagers, accidentels, et non imputables au régime, qui ont atteint à la fois les chiens n^{os} 2, 3, et 4.

Pendant cette période de 40 jours, les accroissements de poids ont été les suivants :

Pour le chien n ^o 1 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	23,66 %
Pour le chien n ^o 2 (farine complète).....	2,42 %
Pour le chien n ^o 3 (farine à 80 %).....	10,14 %
Pour le chien n ^o 4 (farine à 55 %).....	10,17 %

Les nouveaux régimes de la troisième expérience n'ont été institués qu'après le retour de tous les chiens à la santé parfaite.

Au cours de la *troisième expérience*, l'augmentation de poids de chaque animal a été, en 20 jours, par rapport à son poids au début de cette expérience :

Pour le chien n ^o 1 (farine à 80 %).....	4,32 %
Pour le chien n ^o 2 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	9,72 %
Pour le chien n ^o 3 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	7,63 %
Pour le chien n ^o 4 (farine à 80 % + germes de meunerie) ..	7,11 %

Pour les mêmes raisons que celles exposées plus haut, nous avons laissé en dehors de la troisième expérience la période du 5 février au 25 mars, pendant laquelle se sont manifestés des troubles passagers, non imputables au régime, et qui ont éprouvé les quatre chiens successivement.

Nous mentionnons toutefois que si nous avions ajouté cette période de 50 jours aux 20 jours précédents, nous aurions à noter pendant ces 70 jours les chiffres suivants :

Pour le chien n ^o 1 (farine à 80 %).....	6,34 %
Pour le chien n ^o 2 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	17,45 %
Pour le chien n ^o 3 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	3,50 %
Pour le chien n ^o 4 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	12,35 %

chiffres qui confirment encore, sauf pour le chien n° 3, les résultats précédents.

La *quatrième expérience*, où chaque pain forme la nourriture exclusive d'un animal, n'a encore donné lieu, au bout de 84 jours, à aucun trouble de carence.

Les chiens, arrivés à l'état adulte, n'ont pas non plus présenté de notables variations de poids. Ces variations restent au total de l'ordre d'importance de celles que l'on constatait en une seule décade pendant la période précédente.

Voici toutefois les augmentations et diminutions de poids pendant les 84 jours écoulés :

Pour le chien n° 1 (farine à 80 % + germes de mouture)	.. + 1,48 %
Pour le chien n° 2 (farine complète)	 + 1,58 %
Pour le chien n° 3 (farine à 55 %)	 — 2,97 %
Pour le chien n° 4 (farine à 80 %)	 + 3,37 %

Interprétation des résultats.

Dans la *première expérience*, la croissance du jeune chien n° 1, recevant de la farine à 55 %, a été notablement inférieure à celle des autres.

L'animal a présenté des symptômes manifestes de *rachitisme*, sur lesquels l'attention de la Société médicale des hôpitaux de Lyon a été attirée le 14 octobre 1919, dans une communication avec présentation de l'animal (1).

Voici le résumé de l'examen auquel il a donné lieu :

« Rachitisme typique portant avec prédominance sur les pattes antérieures, qui sont franchement arquées. Le

(1) Albert MOREL, G. MOURIQUAND et M. MIGUET. — *Société médicale des Hôpitaux de Lyon — Lyon Médical* — novembre 1919, p. 553.

radius présente de gros gonflements épiphysaires (nouures). La radioscopie montre nettement sa déformation. Les pattes antérieures sont douloureuses au palper ; une pression un peu forte arrache des cris à l'animal. Les pattes postérieures sont peu touchées.

« Au thorax, chapelet rachitique typique.

« Pas d'altérations dentaires nettes. »

Les photographies et radiographies (p. 118 *bis*, *ter* et 120 *bis*), mettent en évidence les déformations osseuses.

Dans la *deuxième expérience*, le même chien, dont la santé, après 120 jours de régime insuffisant, paraissait assez précaire, fut mis à la farine à 80 % additionnée de germes de meunerie. Nous avons vu immédiatement son état général s'améliorer et sa croissance dépasser dans de fortes proportions celle de ses congénères.

Du 24 septembre au 15 janvier (110 jours), durée totale de l'application du régime de la deuxième expérience, les accroissements de poids ont été les suivants:

Pour le chien n° 1 (farine à 80 % + germes de meunerie)...	73,04 %
Pour le chien n° 2 (farine complète).....	35,47 %
Pour le chien n° 3 (farine à 80 %).....	36,85 %
Pour le chien n° 4 (farine à 55 %).....	30,45 %

Il est donc bien certain que la faiblesse de la croissance du chien n° 1 pendant la première expérience n'était pas due à la constitution propre de l'animal, mais à son alimentation. Pour les autres animaux, les diverses expériences ont confirmé le même fait.

L'alimentation avec prédominance de pain au taux d'extraction de 55 % (pain blanc ou de fantaisie, pain de luxe, etc.) est insuffisante pour assurer une croissance normale. Elle semble favoriser le rachitisme.

Cela ne signifie pas que la farine à 55 % doive être rigoureusement exclue de l'alimentation de l'homme, mais à la condition expresse que d'autres aliments suppléent à sa carence.

Quant au pain complet, nettement supérieur au pain à 55 % et même au pain à 80 %, il semble inférieur à celui que l'on obtient avec la farine à 80 % enrichie artificiellement par addition de 5 % des germes de meunerie employés dans ces expériences, et dont nous avons indiqué la composition.

C'est le pain préparé avec cette farine qui nous a toujours donné les meilleurs résultats. Il s'est montré doué de propriétés apéritives manifestes, et les animaux le recherchaient avec avidité.

Dans la *troisième expérience*, nous avons obtenu une confirmation des résultats des deux premières. En effet, nous avons vu que les différences de croissance des animaux qui, soulignons-le ici, sont allées en diminuant d'importance à mesure que l'âge des sujets s'élevait, tenaient bien à des différences de l'alimentation et non à des idiosyncrasies.

Dans la *quatrième expérience*, nous avons constaté tout d'abord que les conclusions tirées de la célèbre expérience de MAGENDIE sont manifestement exagérées. On aurait tort d'admettre comme un fait général que le régime au pain blanc exclusif tue en 50 jours un chien, ce qui est, du reste, en contradiction avec les résultats donnés par l'alimentation humaine, à une époque où la consommation du pain blanc était de règle. C'est parce qu'on a voulu trop prouver, en s'appuyant sur l'expérience de MAGENDIE, au sujet de laquelle nous

ne connaissons aucun protocole, que les campagnes en faveur du pain complet ont pu échouer.

Notre expérience réduit ces conclusions à leur juste valeur. La consommation du pain blanc ne tue pas en aussi peu de temps, mais elle est moins favorable à la croissance que la consommation des pains plus riches en parties externes de la graine.

En outre, si l'on compare les accroissements de poids des trois animaux recevant, l'un de la farine à 80 %, l'autre de la farine à 80 % plus 5 % de germes de meunerie, le troisième du grain complet, on voit qu'ils ont été très peu différents, contrairement aux résultats des première et deuxième expériences, effectuées chez les animaux jeunes, ce qui tend à prouver que les facteurs de croissance ont une influence surtout manifeste chez les animaux pendant qu'ils ont des besoins plastiques intenses.

En résumé, nos expériences ont démontré que :

1° A la périphérie du grain de blé, et notamment dans l'embryon et l'assise protéique, — toujours unis à une partie du péricarpe, — se trouvent des substances indispensables à une bonne nutrition et à la croissance normale (chez le chien) ;

2° L'influence de ces facteurs de croissance est surtout manifeste chez les jeunes ;

3° Il semble y avoir intérêt à éliminer la plus grande partie du péricarpe, pour obtenir l'utilisation maximum des facteurs de croissance ;

4° Contrairement à ce qu'on pouvait supposer à la suite des travaux récents concernant la carence alimen-

taire (1), ces facteurs de croissance ne sont pas détruits par la stérilisation à $+130^{\circ}$, tout au moins par le procédé que nous avons employé (procédé Miguet-Jacquemaire).

L'analyse ne nous a pas encore renseignés sur leur nature chimique. Pour l'orientation de nos recherches ultérieures, peut-être nous sera-t-il possible de trouver quelques renseignements intéressants, en considérant la localisation des facteurs de croissance et leur analyse élémentaire.

Les expériences sur le blé et d'autres céréales, effectuées par divers expérimentateurs, nous indiquent que les facteurs de croissance sont surtout — sinon d'une façon exclusive — localisés dans l'embryon et probablement dans l'assise protéique, éléments vivants de la graine.

Or, ceux-ci sont surtout caractérisés : en premier lieu, par les diastases qu'ils renferment d'une façon élective; ensuite, par une richesse particulière en matières minérales et en substances protéiques.

Nos expériences ayant prouvé que les facteurs de croissance ne sont pas détruits par une stérilisation à 130° , il ne semble plus possible d'identifier leur rôle à une action diastasique, comme certains auteurs en ont émis l'hypothèse.

Un certain nombre de raisons nous invitent à accorder une attention spéciale aux matières minérales, combinées ou non aux substances protéiques.

Dans des expériences récentes, A. LUMIÈRE a montré

(1) Et sans infirmer ces travaux en ce qui concerne les substances anti-béribérique et anti-scorbutique.

que les troubles de carence s'établissent à la suite de « l'insuffisance d'activité des glandes digestives et de l'hypotonie musculaire des organes de la digestion. »

« Quelques centigrammes d'extrait cuticulaire ou d'extrait de levure de bière suffisent à provoquer une abondante sécrétion glandulaire et à ramener la tonicité normale du jabot, du ventricule succenturié et du gésier, si bien que, chez les animaux gavés, le riz poli en rétention est évacué rapidement par une sorte de débâcle montrant la puissance d'excitation que ces produits d'extraction peuvent exercer sur les glandes à sécrétions externes (1). »

L'action des vitamines, facteurs A et B, etc., ne s'exercerait donc sur la nutrition que d'une façon indirecte. On comprend, dans ces conditions, qu'ils semblent agir moins par leur *quantité* que par leur *nature*, et l'on conçoit qu'ils puissent être entièrement distincts des substances alimentaires proprement dites.

Sans être des ferments, ils se comportent comme les ferments eux-mêmes. Or, les travaux de G. BERTRAND sur les diastases ont montré que celles-ci seraient l'ensemble de « deux substances complémentaires l'une de l'autre : la première est une matière minérale, capable à elle seule de produire la réaction envisagée, c'est la *complémentaire active*. La seconde, de nature organique, altérable par la chaleur, a pour rôle d'augmenter la puissance réactionnelle de la première : c'est la *complémentaire activante*. » (2).

(1) Aug. LUMIÈRE. — *Sur le rôle des vitamines dans la nutrition.* (*Presse Médicale*, 8 mai 1920, p. 555.)

(2) G. ANDRÉ. — *Chimie Agricole*, 1914, p. 112.

Il convient de se demander si l'élément minéral de certaines diastases, leur *co-ferment*, comme l'appelle encore G. BERTRAND, ne jouerait pas un rôle dans l'excitation de certaines sécrétions glandulaires.

Cette idée se présente à l'esprit quand on compare les effets de certains régimes carencés chez les végétaux supérieurs avec les effets d'un régime déficient en facteurs de croissance chez les animaux.

On constate, par exemple, que des plantes (vesce, orge, avoine, sarrasin, tabac, trèfle), cultivées dans un milieu composé de sable quartzeux pur, calciné, traité par l'eau régale et lavé, c'est-à-dire un milieu exempt de matières organiques et de matières minérales solubles dans l'eau, croissent néanmoins, portent même quelques fleurs, parfois quelques fruits, mais qu'il y a *absence de graines*.

Les mêmes plantes, cultivées sur le même milieu, additionné de 139 p. 1.000 de sels minéraux (phosphate de calcium, oxyde de fer, carbonate de magnésium, sulfate de potassium, sulfate de calcium, carbonate de calcium, avec addition d'humate de potassium, de sodium, d'ammonium), ont une croissance double, fleurissent et fructifient, et les graines ainsi formées sont fécondes (1).

D'autre part, lorsque de jeunes animaux sont soumis assez longtemps à un régime déficient en facteurs de croissance, on constate chez eux un *arrêt de développement des organes sexuels* (2).

(1) WIEGMANN et POLSTORFF (1842), cités par G. ANDRÉ. — *Loc. cit.*, p. 437.

(2) FUNCK. *Studies on Growth* (1913-14), cité par G. HOULBERT. — G. HOULBERT. *Contribution à l'étude des vitamines*. (Thèse de Paris, 1919, p. 116.)

Sans rapprocher plus qu'il ne convient le développement des organes de reproduction chez les plantes de celui des organes sexuels chez les animaux, il est permis de penser à des causes modificatrices de même nature.

Depuis de nombreuses années, divers auteurs ont mis en lumière le rôle important de certains corps simples, dont parfois on ne soupçonnait même pas la présence dans les végétaux.

Le fluor (1), le zinc (2), le manganèse (3), le bore (4), l'arsenic (5), le magnésium (6), ont tour à tour fait l'objet de recherches et d'études spéciales. Et l'on s'est aperçu que les corps présents dans un organisme en minime quantité ne sont pas toujours les moins nécessaires.

Les cultures artificielles de végétaux faites dans des milieux de composition connue ont abouti à montrer la présence indispensable des éléments simples suivants : azote, phosphore, chlore, potassium, acide sulfurique, chaux, fer, magnésie, manganèse, zinc.

(1) Armand GAUTIER et KLAUSMANN. *Action du fluor sur le rendement des terrains.* (Bull. Soc. Chim. de France, 1920.)

(2) RAULIN. Thèse Doctorat ès sciences, Paris 1870. — JAVILLIER. *Bull. Sciences Pharmacologiques*, 1907. — DELÉZENNE. *Bull. Institut Pasteur*, février 1919.

(3) G. BERTRAND. *C. R. Acad. des Sciences*, tom. 124, p. 1032. — JADIN et ASTRUC. *C. R. Acad. des Sciences*, tom. 155, 1912, p. 406.

(4) G. BERTRAND et AGULHON. *Bull. Soc. Chim. de France*, 1910, p. 87.

(5) Armand GAUTIER. *C. R. Acad. des Sciences*, 1899, tom. 129, p. 920; tom. 130, p. 284; tom. 134, p. 1394. — G. BERTRAND. *Bull. Soc. Chim.* 1902, p. 847. — JADIN et ASTRUC. *C. R. Acad. des Sciences*, 29 juillet 1912, p. 91.

(6) ALOY. Thèse Faculté de Médecine Toulouse. — HUGOUNENQ et MOREL. *Sur la composition de l'hématogène et l'origine de l'hémoglobine.* (*Journal de Physiologie et Pathologie générales*, 1906.) — WILLSTETTER. *Untersuchungen über Chlorophyll.*, Berlin 1913.

L'utilité de la silice, de la soude, du chlore même, est contestable, au moins chez beaucoup de plantes (1).

Les innombrables travaux qui ont permis d'arriver à cette connaissance se rapprochent, par plus d'un point, des recherches actuelles sur la carence alimentaire chez les animaux, au moyen de régimes artificiellement composés.

C'est pourquoi il nous paraît prématuré, à l'heure actuelle, de faire entrer dans un groupe chimique unique les substances désignées par WEILL et MOURIQUAND sous le nom de substances-ferments.

(1) G. ANDRÉ — *Loc. cit.*, p. 440.

CONCLUSIONS

Nos recherches personnelles, ininterrompues pendant plus d'un an, ont démontré que :

1° Pour mettre en évidence les facteurs de croissance, dont les récents travaux sur les effets de la carence alimentaire ont montré l'intérêt, le chien, pendant les premiers mois de sa vie, paraît être un excellent réactif biochimique, au moins aussi significatif que le cobaye, le rat et le pigeon.

2° A la périphérie du grain de blé, et notamment dans l'embryon et l'assise protéique, toujours pratiquement unis à une partie du péricarpe, se trouvent des facteurs indispensables à une bonne nutrition et à la croissance normale des jeunes chiens.

L'alimentation où manquent ces parties de la graine nous a permis de réaliser le rachitisme expérimental, dont leur addition ultérieure a fait disparaître une partie des manifestations.

3° Les facteurs de croissance de l'assise protéique et de l'embryon semblent d'autant plus actifs qu'ils sont mêlés à une quantité plus restreinte de péricarpe. La farine à 80 %, enrichie artificiellement en germes de meunerie, paraît plus avantageuse que la farine complète pour le développement des jeunes.

4° Contrairement à ce qu'on pouvait supposer, à la suite des travaux antérieurs sur la carence, ces facteurs de croissance ne sont pas détruits par la stérilisation à

5° L'influence de ces facteurs est surtout manifeste chez les animaux pendant la période de leur développement ; plus tard elle se constate moins facilement.

6° Pour les chiens adultes, si l'alimentation exclusive à la farine à 55 % (pain blanc, de luxe ou de fantaisie) paraît avoir une valeur moindre que celle dans laquelle entre une proportion plus ou moins considérable des parties externes du grain de blé, il semble exagéré de généraliser les conclusions de l'expérience de MAGENDIE et d'admettre que dans tous les cas l'emploi exclusif du pain blanc doit tuer un chien en 50 jours.

La farine à 55 % s'est montrée à nous comme un aliment moins avantageux que la farine à 80 % ou la farine complète, mais les effets de la carence ne sont pas apparus, chez l'animal adulte sur lequel nous avons expérimenté, aussi rapidement que sur celui dont parle MAGENDIE, puisqu'après 84 jours notre sujet, ne recevant que de la farine à 55 %, du sel et de l'eau, est encore bien vivant et vigoureux, et n'a subi qu'une très faible diminution de poids.

Vu :

Le Président de la Thèse,
HUGOUNENQ

Vu :

Le Doyen,
HUGOUNENQ.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Lyon, le 29 juin 1920.

Le Recteur :

Président du Conseil de l'Université,
P. JOUBIN,

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

La bibliographie qui a trait aux recherches récentes concernant les problèmes alimentaires est considérable. Nous citons ici seulement les ouvrages et publications qui se rapportent au présent travail.

ALOY. — Thèse Faculté de médecine de Toulouse.

ANDRÉ (G.). — Chimie agricole, J.-B. Baillière et fils, Paris, 1914

BALLAND (A.). — Recherches sur les blés, les farines et le pain, Ch. Lavauzelle, Paris, 1894.

— La chimie alimentaire dans l'œuvre de Parmentier, J.-B. Baillière et fils, Paris, 1902.

— Les aliments, J.-B. Baillière et fils, Paris, 1907.

BERTRAND (G.). — *C. R. Acad. des Sciences*, tom. 124, p. 1032.

— *Bull. Soc. Chim.*, 1902, p. 847.

— Sur la digestibilité du pain et la meilleure utilisation du froment, *C. R. Acad. des Sciences*, 1^{er} octobre 1917.

BOUTROUX (L.). — Le pain et la panification, J.-B. Baillière et fils, Paris, 1897.

CAPITAN. — Rapport sur le pain de guerre, *Bull. de l'Acad. de Méd.*, séance du 2 octobre 1917.

CARTON (P.). — Notre aliment fondamental, le pain, A. Maloine, Paris, 1914.

CHAUSSIN (J.). — Etude comparée de la digestion du son par le lapin et par le chien, *C. R. Soc. de Biol.*, 22 mars 1919.

DELÉZENNE. — *Bull. Institut Pasteur*, février 1919.

EYKMAN. — Ernährungspolyneuritis, *Arch. d'Hyg.*, t. LVIII, p. 150, 1906.

FAUVEL (P.). — Sur la valeur alimentaire de différents pains, *C. R. Acad. des Sciences*, 22 mai 1905, et *C. R. Soc. de Biologie*, 3 février 1906.

- FLEURENT (E.). — Le pain de froment, Gauthier-Villars, Paris, 1911.
- FRICHOT (E.). — Etudes et recherches sur le grain de blé, Dreux, 1899.
- FUNCK (C.). — On the chemical nature of the substance which cures polyneuritis in birds induced by a diet of polished rice, *Journ. of Physiol.*, 1911, t. 43, p. 395.
- The etiology of the deficiency diseases, *Journ. of State Med.*, June 1912.
- Die Vitamine und die Avitaminosen, 1914.
- Studies on Growth : The influence of diet on Growth normal and malignant, *The Lancet*, 10 janvier 1914.
- GAUTIER (Armand). — *C. R. Acad. des Sciences*, 1899, tom. 129, p. 920 ; tom. 130, p. 284 ; tom. 134, p. 1394.
- GAUTIER (Armand) et KLAUSMANN. — Action du fluor sur le rendement des terrains, *Bull. Soc. Chim. de France*, 1920.
- GIRARD (Aimé). — Mémoire sur la composition chimique et la valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment, *Annales de Physique et de Chimie*, 6^e série, t. III, 1884.
- Sur la valeur alimentaire des pains provenant de farines blutées à des taux différents, *C. R. Acad. des Sciences*, t. CXX, p. 1309 et 1382.
- Recherches sur la composition des blés et sur leur analyse, *C. R. Acad. des Sciences*, t. CXXIV, p. 876 et 926.
- GIRARD (A.) et FLEURENT. — Recherches sur la composition des blés tendres français et étrangers, *Bull. du Ministère de l'Agriculture*, n° 6, 1899.
- GOTTSCHALK (A.). — La question du pain blanc, *Gazette des Hôpitaux*, 23 juin 1914, p. 1166.
- HOLST et FRÖLICH. — *Journ. of Hygiene*, 1910.
- HOPKINS. — Feeding experiments illustrating the importance of accessory factors in normal dietaries, *Journ. of Physiol.*, t. 44, p. 425, 1912.

- HOULBERT (G.). — Contribution à l'étude des vitamines, thèse de Paris, 1919.
- HUGOUNENQ et MOREL. — Sur la composition de l'hématogène et l'origine de l'hémoglobine, *Journal de Physiologie et Pathologie générales*, 1906.
- JACQUEMAIRE (L.). — Le problème du pain, Villefranche, 1907.
- JADIN et ASTRUC. — *C. R. Acad. des Sciences*, tom. 155, 1912, p. 406.
- *C. R. Acad. des Sciences*, 29 juillet 1912, p. 91.
- JAVILLIER. — *Bull. Soc. Pharmacologique*, 1907.
- LAPICQUE (L.). — Sur le taux de blutage et le rendement alimentaire du blé, *C. R. Acad. des Sciences*, 24 septembre 1917, p. 413.
- LAPICQUE et LEGENDRE. — Amélioration du pain de guerre par neutralisation des ferments du son, *C. R. Acad. des Sciences*, 27 août 1917.
- LAPICQUE et CHAUSSIN. — Valeur alimentaire du blé total et de la farine à 85 %, comparée à la farine blanche, *C. R. Acad. des Sciences*, 18 février 1918.
- Etude de la valeur alimentaire du son chez les carnivores, *C. R. Soc. de Biologie*, 13 avril 1918, p. 322.
- LAPICQUE et LIACRE. — Sur la digestion des cellules à aleurone, *C. R. Soc. de Biologie*, 9 mars 1918, p. 217.
- LEGENDRE (R.). — La question du pain, le pain français, *Presse Méd.*, 11 octobre 1917, p. 589.
- LÉPINE (R.). — Pain de guerre et d'après guerre, *Lyon Médical*, mai 1918, p. 193.
- LINET et AMMANN. — *Bull. Soc. Chim.*, 1905.
- LUMIÈRE (Aug.). — Le mythe des symbiotes, Masson et Cie, Paris, 1919.
- Sur le rôle des vitamines dans la nutrition, *Presse Médicale*, 8 mai 1920.
- MAC COLLUM et DAVIS. — *Journ. Biol. Chem.*, 1915 (*passim*).
- MAC COLLUM et SIMMONDS. — *Journ. Biol. Chem.*, 1917 (*passim*).

- MAGENDIE (F.). — Précis élémentaire de physiologie, Méquignon-Marvis père et fils, Paris, août 1833.
- MEYER. — *Zeitschrift für Biologie*, 1871.
- MICHEL (P.). — Essai sur la carence alimentaire, Thèse de Lyon, 1916.
- MONTEUUIS (A.). — Le pain blanc, ses dangers et son remède, le pain naturel, A. Maloine, Paris, 1914.
- OSBORNE. — The vegetable proteins.
- OSBORNE et MENDEL. — *Journ. Biol. Chim.*, 1917 (*passim*).
- OSBORNE, MENDEL, FERRY et WAKERMANN. — The relation of Growth to the chemical constituents of the diet, *Journ. Biol. Chem.*, vol. XV, 1913.
- PARMENTIER. — Rapport sur le pain des troupes, 21 brumaire An V.
- Expériences et réflexions sur les blés et les farines, Paris, 1776.
- Meunerie et boulangerie, Paris, 1782.
- PÉLIGOT. — Sur la composition du blé, *Ann. de Chimie et de Phys.*, t. XXIX, 1850.
- POGGIALE. — Examen du pain de munition distribué aux troupes des puissances européennes et de la composition chimique du son, *Journ. de Pharmacie et de Chimie*, t. XXIV, 1853.
- Note sur le ligneux du blé, *Journ. de Pharm. et de Chimie*, t. XXXVI, 1859.
- PORTIER (P.). — Les symbiotes, Masson et C^e, Paris 1918.
- RABATÉ (Ed.). — Le blé, la farine et le pain, Hachette et C^e, Paris, 1909.
- RAY. — Observations relatives à l'analyse des farines et à leur conservation, *Union Pharmaceut.*, décembre 1885.
- RATHAY. — Rapport annuel de l'Ecole de Leccans-Klosterneuburg, 1874.
- RAULIN. — Thèse Doctorat ès sciences, Paris, 1870.
- RÉNON. — La tuberculose et les vitamines, *Bull. gén. de Thérapeutique*, 30 juillet 1914.

RIVOIRÉ (H.). — Etude critique sur la valeur alimentaire du pain. Thèse de Lyon, 1917.

SCHOFFER (G.). — Les récents travaux sur les besoins qualitatifs d'azote chez les mammifères et les vitamines, *Bull. de la Soc. scient. d'hygiène aliment.*, 1918, vol. VI, nos 5 et 6.

— Facteurs accessoires de la croissance et de l'équilibre, vitamines, auximones, *Bull. de l'Institut Pasteur*, 15 et 30 janvier 1919.

SÉRAND. — Le pain, Dunod et Pinat, Paris, 1911.

SNYDER. — Studies on bread and bread-making at the University of Minnesota in 1899 et 1900, Department of Agriculture, Washington, 1900.

— Studies on the digestibility and nutritive value of bread at the University of Minnesota in 1900-1902, Department of Agriculture, Washington, 1903.

TRIPPIER. — Rapport sur les perfectionnements à apporter au pain du soldat d'Afrique, 1847.

TIEGHEM (Van). — Botanique, Paris, 1884.

VILLIERS, COLLIN et FAYOLLE. — Traité des falsifications et altérations des substances alimentaires. Aliments féculents, O. Douin et fils, Paris, 1909.

WEILL et MOURIGUAND. — L'alimentation et les maladies par carence (recherches couronnées par l'Académie des sciences, prix Barbier, 1917), J.-B. Baillière et fils, Paris, 1919.

— Note sur la question du pain de guerre, *Soc. méd. milit. de la XIV^e région*, 2 novembre 1915.

— Recherches sur la carence alimentaire. A propos de la question du pain de guerre, *Soc. méd. des Hôp. de Paris*, 3 décembre 1915.

— Graines de céréales décortiquées hypercarenées par la stérilisation, *C. R. Soc. de Biologie*, 4 mars 1916.

— Inanition et carence, *C. R. Soc. de Biologie*, 6 mai 1916.

— Troubles de la digestion dans la carence expérimentale, *C. R. Soc. de Biologie*, 6 mai 1916.

- La carence alimentaire chez l'enfant, *Lyon Médical*, juin 1916.
- Les maladies par carence (carence expérimentale, carence clinique), *Rev. de Médecine*, 1916, n^{os} 1 et 2.
- Recherches biologiques sur le pain de guerre, *Paris Médical*, avril 1918.
- Sur l'apparition de la substance antiscorbutique dans la germination des graines (avec M^{lle} Péronnel).

La notion de carence dans l'interprétation des résultats des expériences sur l'alimentation artificielle et la vie aseptique, *Soç. de Biologie*, 21 décembre 1918.

WIEGMANN et POLSTORFF (1842), cités par G. ANDRÉ. — *Loc. cit.*, p. 437.

WILLSTETTER. — *Untersuchungen über Chlorophyll*, Berlin, 1913.

WOODS et MERRILL. — A report of investigations on the digestibility and nutritive value of bread, Department of Agriculture, Washington, 1900.

- Studies on the digestibility and nutritive value of bread at the Maine agricultural Station, *id.*, 1904.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	7
PREMIÈRE PARTIE. — Le problème du pain :	
Chapitre premier. — LE GRAIN DE BLÉ ET SON UTILISATION.	9
<i>Description du grain de blé</i>	10
<i>Répartition des différents éléments anatomiques et composition chimique du grain de blé</i>	16
<i>Nature des composants du grain de blé. — Matières azotées. — Hydrates de carbone. — Matières grasses. — Matières minérales</i> ..	19
<i>Différentes espèces de blés</i>	25
<i>Examen comparatif des blés</i>	26
<i>Formation, maturation et germination du grain de blé</i> ..	28
<i>Extraction du contenu du grain de blé. — Mouture primitive. — Moutures modernes. — Meules et cylindres. — Examen comparatif du broyage par les meules et par les cylindres et des produits obtenus</i>	30
<i>Examen général des farines au point de vue de leur utilisation. — Examen du gluten. — Dosage du gluten. — Hydratation du gluten. — Vieillessement des farines. — Acidité et matières grasses. — Action des ferments. — Etuvage. — Blanchiment des farines par l'électricité ou l'ozone</i>	44
<i>Panification. — Pétrissage et fermentation panaire. — Cuisson — Pain blanc, pain bis, pain complet</i>	58

	Pages
Chapitre deuxième. — TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LA VALEUR	
ALIMENTAIRE DES DIFFÉRENTES PARTIES DU GRAIN DE BLÉ...	67
PREMIER GROUPE. — Recherches sur la digestibilité	
et le coefficient d'utilisation	67
DEUXIÈME GROUPE. — Recherches ayant mis en évidence	
le rôle indispensable de certaines substances	
jusqu'ici inconnues ou négligées.....	91
DEUXIÈME PARTIE. — Expériences personnelles..	101
Choix des sujets	101
Durée des expériences	103
Conditions générales d'existence des animaux.....	104
Aliments expérimentés.....	104
Composition des rations.....	106
Première expérience.....	106
Deuxième expérience.....	107
Troisième expérience	107
Quatrième expérience.....	108
Renseignements sur la préparation des pains. — Contrôle	
de la température de cuisson.....	109
Estimation des effets des différents régimes.....	111
Résumé des résultats.....	121
Interprétation des résultats.....	123
CONCLUSIONS	133
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.....	135

